金属切削速查速算手册

陈宏钧 主编

第5版

HANDBOOK







机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.COM

金属切削速查速算手册

第 5 版

陈宏钧　主编



机 械 工 业 出 版 社

《金属切削速查速算手册》自1999年第1版出版至今，已经再版4次。《金属切削速查速算手册第5版》秉承“以速查速算为宗旨、以少而精为原则”，采用现行国家标准和行业标准，分13章介绍了常用技术资料、产品几何技术规范、常用零件画法、常用材料及应用、常用切削工具和磨具、车工技术、铣工技术、磨工技术、镗工技术、刨工和插工技术、螺纹加工技术、齿轮加工技术、钳工技术等内容。

本书可供从事机械加工的工人、技师和相关技术人员使用。

前　　言

《金属切削速查速算手册》自 1999 年第 1 版出版后，于 2003 年、2006 年和 2010 年分别出版了第 2 版、第 3 版和第 4 版。该手册一直深受广大读者的厚爱和支持。为了更好地适应机械工业不断发展和工艺技术水平不断提高的需要，我们决定对该手册进行再次全面修订。

这次修订工作突出的重点有：

1）以速查速算为宗旨、以少而精为原则进行修订工作。

2）依据读者来信所提出的问题结合本手册前 4 版内容进行仔细分析，最后精选、完善确定该手册第 5 版的编写内容。

3）重新编排手册章节，由第 4 版的 6 章改编为 13 章，并细化目录，使再版后的第 5 版手册层次清楚、查对方便，更便于读者查找使用。

4）在采用现行国家标准和行业标准的基础上，对本手册第 5 版的内容进行了更新和补充。如：工件定位基本要求及定位误差的计算；产品几何技术规范及极限偏差的计算；配合的计算；

工件几何公差的标注；表面粗糙度的标注；常用零件画法；粉末冶金材料和工程塑料的应用；车刀刃磨；车削细长轴；磨螺纹；铣削花键轴；滚齿加工；镗工技术和钳工划线等。

本书共分13章，主要内容包括：常用技术资料；产品几何技术规范；常用零件画法；常用材料及应用；常用切削工具和磨具；车工技术；铣工技术；磨工技术；镗工技术；刨工、插工技术；螺纹加工技术；齿轮加工技术；钳工技术；常用螺纹基本参数及计算；常用齿轮基本参数及计算等。

本手册由陈宏钧主编，参加编写的人员有王学汉、李凤友、洪二芹、单立红、张洪、洪寿兰、陈环宇。

由于编者水平有限，在编写中难免有不妥和错误之处，真诚希望广大读者批评指正。

编　者

目　　录

前言
第 1 章　常用技术资料 ………………………… *1*
1.1　常用数学 ………………………… *1*
1.1.1　代数中的常用公式和相互间的关系 ……… *1*
1.1.2　三角形的解法和常用公式 ……………… *5*
1.2　常用数表及几何图形计算 ………………… *11*
1.2.1　常用单位换算 …………………………… *11*
1.2.2　π 的重要函数及 π、25.4 的近似分数 ………………………………… *16*
1.2.3　常用几何图形计算 ……………………… *18*
1.2.4　圆周等分尺寸计算 ……………………… *28*
1.2.5　圆周等分系数表 ………………………… *30*
1.2.6　角度与弧度换算 ………………………… *33*
1.2.7　内圆弧与外圆弧计算 …………………… *34*
1.2.8　V 形槽宽度、角度计算 ………………… *35*
1.2.9　燕尾与燕尾槽宽度计算 ………………… *36*
1.2.10　内圆锥与外圆锥计算 ………………… *37*
1.3　工件定位误差计算 ………………………… *40*
1.3.1　工件定位原理及其应用 ………………… *40*
1.3.2　常用定位方法和定位元件所能限制的自由度 ………………………………… *42*

1.3.3 定位误差的计算 …… 53
1.4 切削加工通用技术条件 …… 57
1.4.1 一般要求 …… 57
1.4.2 线性尺寸的一般公差 …… 59
1.4.3 角度尺寸的一般公差 …… 60
1.4.4 几何公差的一般公差 …… 61
1.4.5 螺纹 …… 65
1.4.6 中心孔 …… 65
1.5 机械加工的一般标准规范 …… 65
1.5.1 中心孔 …… 65
1.5.2 各类槽 …… 70
1.5.3 倒圆与倒角 …… 74
1.5.4 球面半径 …… 76
1.5.5 螺纹零件 …… 76
第2章 产品几何技术规范 …… 97
2.1 极限与配合及计算 …… 97
2.1.1 极限与配合基本规定 …… 97
2.1.2 极限偏差及相关配合的计算 …… 136
2.2 工件几何公差的标注 …… 145
2.2.1 符号 …… 145
2.2.2 用公差框格标注几何公差的基本要求 …… 149
2.2.3 标注方法 …… 150
2.2.4 图样上标注公差值的规定 …… 171
2.2.5 公差值表 …… 172
2.2.6 几何公差未注公差值 …… 181
2.3 表面粗糙度的标注 …… 184

2.3.1　表面粗糙度符号、代号及标注 …………… 184
2.3.2　表面粗糙度代号在图样上的标注方法 …………………………………… 193
2.3.3　各级表面粗糙度的表面特征及应用举例 …………………………………… 200
第3章　常用零件画法 ……………………… 203
3.1　螺纹及螺纹紧固件 ……………………… 203
3.2　齿轮、齿条、蜗杆、蜗轮及链轮的画法 …… 214
3.3　矩形花键的画法及其尺寸标注 ………………… 221
3.4　弹簧画法 ……………………………… 223
3.5　中心孔表示法 ………………………… 230
3.6　滚动轴承表示法 ……………………… 233
3.7　动密封圈表示法 ……………………… 254
第4章　常用材料及应用 …………………… 272
4.1　常用钢的品种及应用 ………………… 272
4.1.1　结构钢 …………………………… 272
4.1.2　工具钢 …………………………… 299
4.1.3　轴承钢 …………………………… 311
4.2　常用铸铁的品种、性能和用途 ………… 313
4.2.1　灰铸铁 …………………………… 313
4.2.2　球墨铸铁 ………………………… 315
4.2.3　可锻铸铁 ………………………… 317
4.2.4　蠕墨铸铁 ………………………… 319
4.2.5　耐热铸铁 ………………………… 320
4.2.6　高硅耐蚀铸铁 …………………… 324
4.2.7　耐磨铸铁 ………………………… 326

4.3 有色金属 …… 326
4.3.1 铜及铜合金 …… 326
4.3.2 铸造铜合金的牌号和应用 …… 337
4.3.3 常用铝及铝合金的牌号和应用 …… 340
4.3.4 常用铸造铝合金的代号和应用 …… 342
4.4 粉末冶金材料的分类及应用 …… 342
4.5 常用工程塑料的性能及应用 …… 345
第5章 常用切削工具和磨具 …… 350
5.1 常用切削工具 …… 350
5.1.1 常用刀具材料 …… 350
5.1.2 车刀 …… 361
5.1.3 孔加工刀具 …… 424
5.1.4 铣刀 …… 448
5.1.5 齿轮刀具 …… 463
5.1.6 丝锥和板牙 …… 468
5.2 磨具 …… 484
5.2.1 普通磨具 …… 484
5.2.2 超硬磨具 …… 511
第6章 车工技术 …… 528
6.1 车刀的手工刃磨 …… 528
6.1.1 砂轮的选择 …… 528
6.1.2 刃磨步骤 …… 528
6.2 标准麻花钻的刃磨及修磨 …… 532
6.2.1 标准麻花钻的刃磨方法 …… 532
6.2.2 标准麻花钻的修磨 …… 533
6.3 中心孔的加工与修研 …… 537

6.3.1　中心孔的加工及质量分析 ……………… 537
6.3.2　中心孔的修研 ……………………………… 540
6.4　车削圆锥面 ……………………………………… 542
6.4.1　锥体各部分名称代号及尺寸计算 ……… 542
6.4.2　车削圆锥面方法 ………………………… 543
6.4.3　车削标准锥度和常用锥度时小刀架及靠模板的转动角度 ………………………… 546
6.4.4　车削圆锥时尺寸的控制方法 …………… 546
6.5　车削偏心工件 …………………………………… 549
6.5.1　车削偏心工件的装夹方法 ……………… 549
6.5.2　车削曲轴的装夹方法 …………………… 549
6.5.3　测量偏心距的方法 ……………………… 556
6.6　车削成形面 ……………………………………… 560
6.7　车削表面的滚压加工和滚花 ………………… 563
6.7.1　滚压加工常用工具及其应用 …………… 564
6.7.2　滚轮式滚压工具常用的滚轮外圆形状及应用 ……………………………………… 570
6.7.3　滚轮滚压的加工方法 …………………… 571
6.7.4　滚压质量分析 …………………………… 573
6.7.5　滚花 ……………………………………… 575
6.8　车削薄壁工件 …………………………………… 577
6.8.1　工件的装夹方法 ………………………… 578
6.8.2　刀具几何角度的选择 …………………… 580
6.9　车削细长轴 ……………………………………… 582
6.9.1　细长轴的加工特点 ……………………… 582
6.9.2　细长轴的装夹 …………………………… 582

6. 9. 3　车削细长轴常用的切削用量 …………… 590
6. 9. 4　加工细长轴用车刀举例 ………………… 590
6. 10　冷绕弹簧 ……………………………………… 593
6. 10. 1　卧式车床可绕制弹簧的种类 ………… 593
6. 10. 2　绕制圆柱形螺旋压缩弹簧 …………… 593
6. 10. 3　绕制圆柱形螺旋拉伸弹簧 …………… 596
6. 10. 4　绕制圆锥形螺旋压缩弹簧 …………… 596
6. 10. 5　绕制橄榄形弹簧 ……………………… 597
第 7 章　铣工技术 ………………………………… 599
7. 1　常用分度头分度方法及计算 ………………… 599
7. 1. 1　分度头传动系统及分度头定数 ………… 599
7. 1. 2　分度方法及计算 ……………………… 601
7. 2　铣削离合器 ……………………………………… 609
7. 2. 1　齿式离合器的种类及特点 …………… 610
7. 2. 2　矩形齿离合器的铣削 ………………… 611
7. 2. 3　尖齿（正三角形）离合器的铣削 ……… 613
7. 2. 4　梯形收缩齿离合器的铣削 …………… 615
7. 2. 5　锯齿形离合器的铣削 ………………… 616
7. 3　铣削凸轮 ………………………………………… 618
7. 3. 1　凸轮传动的三要素 …………………… 619
7. 3. 2　等速圆盘凸轮的铣削 ………………… 620
7. 3. 3　等速圆柱凸轮的铣削 ………………… 623
7. 4　铣削球面 ………………………………………… 624
7. 5　铣削花键轴 ……………………………………… 626
7. 5. 1　花键的定心方式及加工精度 ………… 626
7. 5. 2　在铣床上铣削矩形齿花键轴 ………… 628

7.6 铣削滚子链链轮 …… 635
7.6.1 直线端面齿形滚子链链轮主要尺寸及计算公式 …… 636
7.6.2 直线端面齿形滚子链链轮铣削方法 …… 636
7.6.3 滚子链链轮的测量 …… 641
7.6.4 链轮工作图标注要求 …… 642
7.7 铣削刀具齿槽 …… 642
7.7.1 对前角 $\gamma_o = 0°$ 的铣刀开齿 …… 642
7.7.2 对前角 $\gamma_o > 0°$ 的铣刀开齿 …… 645
7.7.3 圆柱螺旋齿铣刀的铣削 …… 646
7.7.4 麻花钻的铣削 …… 649
7.7.5 端面齿的铣削 …… 650
7.7.6 锥面齿的铣削 …… 652
7.7.7 铰刀的开齿 …… 653
第 8 章 磨工技术 …… 656
8.1 砂轮的安装与修整 …… 656
8.1.1 砂轮的安装 …… 656
8.1.2 砂轮静平衡调整方法 …… 656
8.1.3 修整砂轮 …… 658
8.1.4 砂轮修整工具及其选用 …… 659
8.2 常用磨削液的名称及性能 …… 663
8.3 外圆磨削 …… 665
8.3.1 外圆磨削工件装夹方法 …… 665
8.3.2 砂轮的选择 …… 670
8.3.3 外圆磨削砂轮速度 …… 671
8.3.4 外圆磨削余量的合理选择 …… 671

8.4　内圆磨削 …………………………………… 674
8.4.1　内圆磨削工件装夹方法 ……………… 674
8.4.2　内圆磨削砂轮的选择及安装 ………… 677
8.4.3　内圆磨削砂轮速度选择 ……………… 683
8.4.4　内圆磨削余量的合理选择 …………… 683
8.5　圆锥面磨削 ………………………………… 684
8.5.1　圆锥面的磨削方法 …………………… 684
8.5.2　圆锥面的精度检验 …………………… 690
8.6　平面磨削 …………………………………… 691
8.6.1　工件的装夹方法 ……………………… 691
8.6.2　平面磨削砂轮的选择 ………………… 697
8.6.3　平面磨削砂轮速度选择 ……………… 697
8.6.4　平面磨削余量的合理选择 …………… 698
第9章　镗工技术 …………………………… 699
9.1　卧式镗床基本工作范围 …………………… 700
9.2　卧式镗床基本定位方法 …………………… 705
9.3　导向装置布置的形式与特点 ……………… 713
9.4　工件定位基准及定位方法 ………………… 716
9.5　镗削基本类型及加工精度分析 …………… 720
9.6　镗削加工基本方法 ………………………… 730
9.6.1　镗刀安装与对刀 ……………………… 730
9.6.2　粗镗、精镗 …………………………… 732
9.6.3　基本镗削方法 ………………………… 733
9.6.4　用镗模加工方法 ……………………… 756
9.7　卧式铣镗床常用测量方法及精度 ………… 756
第10章　刨工、插工技术 …………………… 760

10.1 刨削 …… 760
10.1.1 刨削加工方法 …… 760
10.1.2 刨刀类型及切削角度的选择 …… 768
10.1.3 刨削常用装夹方法 …… 774
10.1.4 刨削工具 …… 780
10.1.5 槽类工件的刨削与切断 …… 781
10.1.6 镶条的刨削方法 …… 786
10.1.7 精刨 …… 788
10.2 插削 …… 792
10.2.1 插刀 …… 792
10.2.2 常用插削方式和加工方法 …… 795
第 11 章 螺纹加工技术 …… 801
11.1 车螺纹 …… 801
11.1.1 常用螺纹车刀的特点与应用 …… 801
11.1.2 螺纹车刀的安装 …… 801
11.1.3 卧式车床车螺纹交换齿轮计算 …… 824
11.1.4 螺纹车削方法 …… 833
11.1.5 高速钢及硬质合金车刀车削不同材料螺纹的切削用量 …… 837
11.1.6 高速钢车刀车削螺纹时常用切削液 …… 839
11.2 磨削螺纹 …… 840
11.2.1 螺纹磨削方法 …… 840
11.2.2 螺纹磨削砂轮的选择和修整 …… 843
11.2.3 螺纹磨削的工艺要求 …… 845
11.3 用丝锥和板牙切削螺纹 …… 847
11.3.1 用丝锥攻螺纹 …… 847

11.3.2　用板牙套螺纹 …………………………… 859
11.4　螺纹的检测 ……………………………………… 863
11.4.1　三针测量方法 …………………………… 863
11.4.2　单针测量方法 …………………………… 874
11.4.3　综合测量方法 …………………………… 874
第12章　齿轮加工技术 …………………………… 877
12.1　成形法铣削齿轮 ……………………………… 877
12.1.1　用成形铣刀铣直齿圆柱齿轮 …………… 877
12.1.2　用成形铣刀铣削直齿条、斜齿条 ……… 879
12.1.3　用成形铣刀铣斜齿圆柱齿轮 …………… 880
12.1.4　用成形铣刀铣直齿锥齿轮 ……………… 890
12.2　用飞刀展成铣蜗轮 …………………………… 894
12.2.1　铣削方法 ………………………………… 894
12.2.2　交换齿轮计算 …………………………… 895
12.2.3　铣头倾斜角度方向、工件旋转方向及中间轮装置 …………………………… 896
12.2.4　飞刀部分尺寸计算公式 ………………… 897
12.3　滚齿 …………………………………………… 901
12.3.1　常用滚齿机连接尺寸 …………………… 901
12.3.2　常用滚齿夹具及齿轮的安装 …………… 907
12.3.3　滚刀心轴和滚刀的安装要求 …………… 909
12.3.4　滚刀精度的选择 ………………………… 910
12.3.5　滚齿工艺参数的选择 …………………… 910
12.3.6　滚齿加工调整 …………………………… 912
12.3.7　滚切大质数齿轮（以Y38型滚齿机为例） …………………………… 913

12.4　交换齿轮表 …… 924
12.5　齿轮检测 …… 938
12.5.1　公法线长度的测量 …… 938
12.5.2　分度圆弦齿厚的测量 …… 960
12.5.3　固定弦齿厚的测量 …… 962
12.5.4　齿厚上偏差及公差 …… 964
第13章　钳工技术 …… 970
13.1　划线 …… 970
13.1.1　划线基准的选择 …… 970
13.1.2　划线时的校正和借料 …… 974
13.1.3　划线程序 …… 981
13.1.4　立体划线 …… 983
13.1.5　应用分度头划线 …… 987
13.2　钻削、铰削加工 …… 990
13.2.1　钻孔 …… 990
13.2.2　扩孔 …… 1005
13.2.3　锪孔 …… 1006
13.2.4　铰孔 …… 1010
13.3　刮削 …… 1020
13.3.1　常见刮削应用及刮削面种类 …… 1020
13.3.2　刮削工具 …… 1021
13.3.3　刮削用显示剂的种类及应用 …… 1037
13.3.4　刮削余量 …… 1039
13.3.5　刮削精度要求 …… 1040
13.3.6　刮削方法 …… 1042
13.3.7　刮削面缺陷的分析 …… 1052

13.4　研磨 …………………………………… 1053
13.4.1　研磨的分类及适用范围 ………… 1054
13.4.2　研磨剂 …………………………… 1055
13.4.3　研具 ……………………………… 1062
13.4.4　研磨方法 ………………………… 1072
13.4.5　研磨的质量分析 ………………… 1083
附录 ………………………………………… 1085
附录 A　常用螺纹基本参数及计算 ………… 1085
A.1　普通螺纹……………………………… 1085
A.1.1　普通螺纹基本牙型及尺寸计算………… 1085
A.1.2　普通螺纹直径与螺距系列…………… 1086
A.1.3　普通螺纹基本尺寸…………………… 1090
A.1.4　普通螺纹的优选系列………………… 1098
A.1.5　普通螺纹的管路系列………………… 1100
A.1.6　普通螺纹公差与配合………………… 1101
A.1.7　普通螺纹标记方法及示例…………… 1108
A.2　梯形螺纹……………………………… 1127
A.2.1　梯形螺纹牙型………………………… 1127
A.2.2　梯形螺纹直径与螺距的标准组合系列……………………………… 1129
A.2.3　梯形螺纹基本尺寸…………………… 1132
A.2.4　梯形螺纹公差………………………… 1137
A.2.5　梯形螺纹旋合长度…………………… 1146
A.2.6　梯形螺纹标记方法及示例…………… 1147
A.3　55°管螺纹 …………………………… 1149
A.3.1　55°密封管螺纹 ……………………… 1149

A. 3. 2　55°非密封管螺纹 …………………… 1155
A. 4　60°密封管螺纹 ………………………… 1159
A. 4. 1　60°密封管螺纹的术语及代号 ………… 1160
A. 4. 2　60°密封管螺纹的牙型 ……………… 1161
A. 4. 3　圆锥管螺纹的基本尺寸及公差……… 1163
A. 4. 4　圆柱内螺纹的基本尺寸及公差……… 1166
A. 4. 5　有效螺纹的长度…………………… 1167
A. 4. 6　倒角对基准平面理论位置的影响……… 1167
A. 4. 7　60°密封管螺纹标记方法及示例 ……… 1169
A. 5　米制密封螺纹………………………… 1169
A. 5. 1　牙型………………………………… 1169
A. 5. 2　基准平面的位置…………………… 1170
A. 5. 3　基本尺寸…………………………… 1170
A. 5. 4　公差………………………………… 1173
A. 5. 5　螺纹长度…………………………… 1173
A. 5. 6　米制密封螺纹标记方法及示例……… 1174
A. 6　英制惠氏螺纹………………………… 1174
A. 6. 1　牙型………………………………… 1174
A. 6. 2　英制惠氏螺纹的标准系列…………… 1175
A. 6. 3　基本尺寸…………………………… 1176
附录 B　常用齿轮基本参数及计算 ……………… 1179
B. 1　渐开线圆柱齿轮………………………… 1179
B. 1. 1　基本齿廓、代号及模数……………… 1179
B. 1. 2　圆柱齿轮的几何尺寸计算…………… 1183
B. 1. 3　精度等级及其选择………………… 1187
B. 1. 4　齿坯公差…………………………… 1190

B.2 齿条 …………………………………………… *1194*
B.2.1 齿条的几何尺寸计算 ………………………… *1194*
B.2.2 齿条精度 …………………………………… *1194*
B.3 锥齿轮 …………………………………………… *1197*
B.3.1 锥齿轮基本齿廓尺寸参数 …………………… *1197*
B.3.2 模数 ………………………………………… *1198*
B.3.3 直齿锥齿轮几何尺寸计算 …………………… *1199*
B.3.4 锥齿轮精度 ………………………………… *1203*
B.3.5 齿坯要求 …………………………………… *1206*
B.4 圆柱蜗杆和蜗轮 ………………………………… *1208*
B.4.1 圆柱蜗杆的基本齿廓 ………………………… *1208*
B.4.2 圆柱蜗杆的主要参数 ………………………… *1210*
B.4.3 圆柱蜗杆传动几何尺寸计算 ………………… *1212*
B.4.4 圆柱蜗杆、蜗轮精度 ………………………… *1216*
B.4.5 齿坯要求 …………………………………… *1222*

第1章　常用技术资料

1.1　常用数学

1.1.1　代数中的常用公式和相互间的关系

1. 移项

1）$a+b=c-d$

$a=(c-d)-b=c-d-b$

$b=c-d-a$

$c=a+b+d$

$d=c-a-b$

2）$\frac{a}{b}=\frac{c}{d}$

$bc=ad \quad \frac{a}{c}=\frac{b}{d}$

$\frac{d}{b}=\frac{c}{a} \quad \frac{d}{c}=\frac{b}{a}$

2. 加减乘除

1）$(+a)+(+b)=+(a+b)=a+b$

$(+a)+(-b)=a-b$

$(+a)-(+b)=a-b$

$(+a)-(-b)=a+b$

$(-a)+(-b)=-(a+b)$

$(-a)+(+b)=-(a-b)=+(b-a)$

$(-a)-(-b)=b-a$

$$(-a)-(+b)=-(a+b)$$

2) $(+a)(+b)=ab$

$$(-a)(+b)=-ab$$

$$(-a)(-b)=ab$$

$$(+a)\div(+b)=\frac{a}{b}$$

$$(-a)\div(+b)=-\frac{a}{b}$$

$$(-a)\div(-b)=\frac{a}{b}$$

$$(a+b)(c+d)=ac+bc+ad+bd$$

$$(a-b)(c+d)=ac-bc+ad-bd$$

$$(a+b)(c-d)=ac+bc-ad-bd$$

$$(a-b)(c-d)=ac-bc-ad+bd$$

3) $a+0=a \quad a-0=a$

$$a\times 0=0 \quad \frac{0}{a}=0(a\neq 0) \quad \frac{a}{0}=\infty$$

$$\frac{a}{b}=\frac{am}{bm}(m\neq 0)$$

$$\frac{a_1}{b}+\frac{a_2}{b}=\frac{a_1+a_2}{b} \quad \frac{a_1}{b}-\frac{a_2}{b}=\frac{a_1-a_2}{b}$$

$$\frac{a_1}{b_1 d}+\frac{a_2}{b_2 d}=\frac{a_1 b_2+a_2 b_1}{b_1 b_2 d}$$

$$\frac{a_1}{b_1 d}-\frac{a_2}{b_2 d}=\frac{a_1 b_2-a_2 b_1}{b_1 b_2 d}$$

$$\left(\frac{a}{b}\right)m=\frac{am}{b}$$

$$\frac{a}{b} \div c = \frac{a}{bc} = \frac{a}{c} \div b \quad (b \neq 0,\ c \neq 0)$$

$$a \div \frac{b}{c} = a\left(\frac{c}{b}\right) = \frac{ac}{b}$$

$$\left(\frac{a_1}{b_1}\right)\left(\frac{a_2}{b_2}\right) = \frac{a_1 a_2}{b_1 b_2}$$

$$\frac{a_1}{b_1} \div \frac{a_2}{b_2} = \left(\frac{a_1}{b_1}\right)\left(\frac{b_2}{a_2}\right) = \frac{a_1 b_2}{b_1 a_2}$$

3. 分解因式

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2 = (a-b)^2 + 4ab$$

$$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

$$a^2 + b^2 = (a-b)^2 + 2ab = (a+b)^2 - 2ab$$

$$a^2 - b^2 = (a+b)(a-b)$$

$$(a \pm b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 \pm 2ab + 2ac \pm 2bc$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2 b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2)$$

$$(a \pm b)^4 = a^4 \pm 4a^3 b + 6a^2 b^2 \pm 4ab^3 + b^4$$

4. 一元二次方程式求根

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (b^2 - 4ac \geqslant 0)$$

5. 幂和根式

1) $(+a)^{2n} = +a^{2n} = a^{2n} \quad (-a)^{2n} = +a^{2n}$

$(+a)^{2n+1} = a^{2n+1} \qquad (-a)^{2n+1} = -a^{2n+1}$

$(-1)^{2n} = +1 \quad (-1)^{2n+1} = -1 \ (n = 1, 2, 3 \cdots)$

$$a^1 = a \quad 0^1 = 0 \quad 1^n = 1 \quad a^0 = 1 \quad a^{-n} = \frac{1}{a^n} (a \neq 0)$$

$$a^n = \frac{1}{a^{-n}} = \left(\frac{1}{a}\right)^{-n} \quad (a \neq 0)$$

$$\frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n = \left(\frac{b}{a}\right)^{-n}$$

$$a^m a^n = a^{m+n} \quad a^m \div a^n = \frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$$

$$(a^m)^n = (a^n)^m = a^{mn}$$

$$(abc)^n = a^n b^n c^n$$

2) $\sqrt[n]{0} = 0 \quad \sqrt[n]{1} = 1 \quad \sqrt[2]{a} = \sqrt{a}$

$$(\sqrt[n]{a})^n = a$$

$$a^{\frac{1}{n}} \cdot a^{\frac{1}{m}} = a^{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}} = a^{\frac{n+m}{nm}} = \sqrt[nm]{a^{n+m}}$$

$$\sqrt[n]{abc\cdots l} = \sqrt[n]{a}\sqrt[n]{b}\sqrt[n]{c}\cdots\sqrt[n]{l} (a > 0,\ b > 0,\ c > 0,\ \cdots,\ l > 0)$$

$$\left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} \quad (a > 0,\ b > 0)$$

$$a^{-\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{\frac{1}{a}} = \frac{1}{\sqrt[n]{a}}$$

$$a^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a} = \sqrt[mn]{a^m} \quad a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m$$

$$c\sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{ac^n} \quad (c > 0)$$

$$\sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = \sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a}$$

$$\sqrt{a} + \sqrt{b} = \sqrt{a + b + 2\sqrt{ab}}$$

$$\sqrt{a} - \sqrt{b} = \sqrt{a + b - 2\sqrt{ab}} \ (a > b)$$

$$\frac{c}{\sqrt{a}-\sqrt{b}}=\frac{c\left(\sqrt{a}+\sqrt{b}\right)}{a-b}$$

$$a^r b^r = (ab)^r$$

1.1.2　三角形的解法和常用公式

1. 三角函数的定义

在直角三角形 ABC（图 1-1）中，如果知道了两条边，就可以知道锐角 A 或 B 的大小。同样，如果知道了一条边和一个锐角，也就可以求出另外两条边的大小。

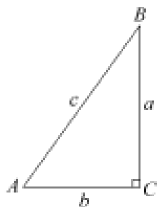


图 1-1　直角三角形

把三角形的 BC 边长用 a 表示，AC 边长用 b 表示，AB 边长用 c 表示，按下面定义就可得出常用的四个公式：

1）锐角 A 所对的直角边 a 与斜边 c 的比，称为锐角 A 的正弦，即

$$\sin A = \frac{a}{c}$$

2）锐角 A 相邻的直角边 b 与斜边 c 的比，称为锐角 A 的余弦，即

$$\cos A = \frac{b}{c}$$

3）锐角 A 所对的直角边 a 与此角相邻的直角边 b 的比，称为锐角 A 的正切，即

$$\tan A = \frac{a}{b}$$

4）锐角 A 相邻的直角边 b 与此角所对的直角边 a 的

比，称为锐角 A 的余切，即

$$\cot A = \frac{b}{a}$$

同样，锐角 B 有

$$\sin B = \frac{b}{c}$$

$$\cos B = \frac{a}{c}$$

$$\tan B = \frac{b}{a}$$

$$\cot B = \frac{a}{b}$$

由以上的关系可知

$$\sin A = \cos B$$
$$\cos A = \sin B$$
$$\tan A = \cot B$$
$$\cot A = \tan B$$

从四个定义中可得

$$a = c\sin A \quad c = \frac{a}{\sin A}$$

$$b = c\cos A \quad c = \frac{b}{\cos A}$$

$$a = b\tan A \quad b = \frac{a}{\tan A}$$

$$b = a\cot A \quad a = \frac{b}{\cot A}$$

2. 勾股定理

在直角三角形中，斜边的平方等于两条直角边的平方

和，即

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

同样，可以把上面公式变为

$$a^2 = c^2 - b^2$$

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$b^2 = c^2 - a^2$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

在直角三角形中，如果知道了两条边的长度，就可以应用勾股定理求出第三条边的长度。

例 $b = 12\text{mm}$，$a = 10\text{mm}$，求 c。

解 $c = \sqrt{12^2 + 10^2}\ \text{mm} = 15.6\text{mm}$

例 $c = 20\text{mm}$，$b = 12\text{mm}$，求 a。

解 $a = \sqrt{20^2 - 12^2}\ \text{mm} = 16\text{mm}$

3. 30°、45°、60°的三角函数值

30°、45°、60°的三角函数值，可以用数学方法求出，不需要查三角函数表。

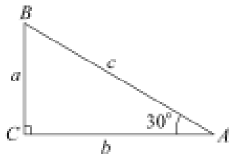


图 1-2　30°直角三角形

1）30°的函数值。在直角三角形 ABC 中（图1-2），$A = 30°$，根据几何定理，$a = \frac{1}{2}c$，所以

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{c^2 - \left(\frac{1}{2}c\right)^2} = \frac{1}{2}\sqrt{3}c$$

因而

$$\sin 30° = \frac{a}{c} = \frac{\frac{1}{2}c}{c} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$\cos 30° = \frac{b}{c} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{3}c}{c} = \frac{1}{2}\sqrt{3} \approx 0.8660$$

$$\tan 30° = \frac{a}{b} = \frac{\frac{1}{2}c}{\frac{1}{2}\sqrt{3}c} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.5774$$

$$\cot 30° = \frac{b}{a} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{3}c}{\frac{1}{2}c} = \sqrt{3} \approx 1.7321$$

2）45°的三角函数值。在直角三角形 ABC（图 1-3）中，$A = 45°$，$b = a$，所以

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{a^2 + a^2} = \sqrt{2a^2} = \sqrt{2}a$$

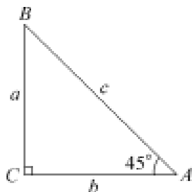


图 1-3　45°直角三角形

因而

$$\sin 45° = \frac{a}{c} = \frac{a}{\sqrt{2}a} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.7071$$

$$\cos 45° = \frac{b}{c} = \frac{a}{\sqrt{2}a} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.7071$$

$$\tan 45° = \frac{a}{b} = \frac{a}{a} = 1$$

$$\cot 45° = \frac{b}{a} = \frac{a}{a} = 1$$

3）60°的三角函数值。在直角三角形 ABC（图 1-4）中，$A = 60°$，按几何定理，$b = \frac{1}{2}c$，所以

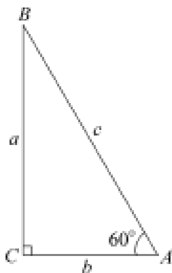


图 1-4　60°直角三角形

$$a = \sqrt{c^2 - b^2} = \sqrt{c^2 - \left(\frac{1}{2}c\right)^2} = \frac{1}{2}\sqrt{3}c$$

因而

$$\sin 60° = \frac{a}{c} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{3}c}{c} = \frac{1}{2}\sqrt{3} \approx 0.8660$$

$$\cos 60° = \frac{b}{c} = \frac{\frac{1}{2}c}{c} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$\tan 60° = \frac{a}{b} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{3}c}{\frac{1}{2}c} = \sqrt{3} \approx 1.7321$$

$$\cot 60° = \frac{b}{a} = \frac{\frac{1}{2}c}{\frac{1}{2}\sqrt{3}c} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.5774$$

4. 常用公式

（1）同角三角函数间的关系

$$\tan\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} \quad \sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$$

$$\cot\alpha = \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} \quad \tan^2\alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2\alpha}$$

（2）诱导公式（表 1-1）

表 1-1　诱导公式

① $\sin(180° - \alpha) = \sin\alpha$	⑤ $\sin(-\alpha) = -\sin\alpha$
② $\cos(180° - \alpha) = -\cos\alpha$	⑥ $\cos(-\alpha) = \cos\alpha$
③ $\tan(180° - \alpha) = -\tan\alpha$	⑦ $\tan(-\alpha) = -\tan\alpha$
④ $\cot(180° - \alpha) = -\cot\alpha$	⑧ $\cot(-\alpha) = -\cot\alpha$

（3）两角和、两角差、倍角和半角的三角函数

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta$$

$$\tan(\alpha + \beta) = \frac{\tan\alpha + \tan\beta}{1 - \tan\alpha\tan\beta}$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta$$

$$\tan(\alpha - \beta) = \frac{\tan\alpha - \tan\beta}{1 + \tan\alpha\tan\beta}$$

$$\sin2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$$

$$\cos2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1 = 1 - 2\sin^2\alpha$$

$$\tan2\alpha = \frac{2\tan\alpha}{1 - \tan^2\alpha}$$

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \pm\sqrt{\frac{1 - \cos\alpha}{2}}$$

$$\cos\frac{\alpha}{2} = \pm\sqrt{\frac{1 + \cos\alpha}{2}}$$

$$\tan\frac{\alpha}{2} = \pm\sqrt{\frac{1 - \cos\alpha}{1 + \cos\alpha}} = \frac{1 - \cos\alpha}{\sin\alpha} = \frac{\sin\alpha}{1 + \cos\alpha}$$

1.2　常用数表及几何图形计算

1.2.1　常用单位换算

1. 长度单位换算（表 1-2）

表 1-2　长度单位换算

米（m）	厘米（cm）	毫米（mm）	英寸（in）	英尺（ft）	码（yd）	市尺
1	10^2	10^3	39.37	3.281	1.094	3
10^{-2}	1	10	0.394	3.281×10^{-2}	1.094×10^{-2}	3×10^{-2}
10^{-3}	0.1	1	3.937×10^{-3}	3.281×10^{-3}	1.094×10^{-3}	3×10^{-3}
2.54×10^{-2}	2.54	25.4	1	8.333×10^{-2}	2.778×10^{-2}	7.62×10^{-2}
0.305	30.48	3.048×10^2	12	1	0.333	0.914
0.914	91.44	9.10×10^2	36	3	1	2.743
0.333	33.333	3.333×10^2	13.123	1.094	0.366	1

2. 面积单位换算（表 1-3）

表 1-3　面积单位换算

米^2（m^2）	厘米^2（cm^2）	毫米^2（mm^2）	英寸^2（in^2）	英尺^2（ft^2）	码^2（yd^2）	市尺^2
1	10^4	10^6	1.550×10^3	10.764	1.196	9
10^{-4}	1	10^2	0.155	1.076×10^{-3}	1.196×10^{-4}	9×10^{-4}

（续）

米^2（m^2）	厘米^2（cm^2）	毫米^2（mm^2）	英寸^2（in^2）	英尺^2（ft^2）	码^2（yd^2）	市尺^2
10^{-6}	10^{-2}	1	1.55×10^{-3}	1.076×10^{-5}	1.196×10^{-6}	9×10^{-6}
6.452×10^{-4}	6.452	6.452×10^{2}	1	6.944×10^{-3}	7.617×10^{-4}	5.801×10^{-3}
9.290×10^{-2}	9.290×10^{2}	9.290×10^{4}	1.44×10^{2}	1	0.111	0.836
0.836	8361.3	0.836×10^{6}	1296	9	1	7.524
0.111	1.111×10^{3}	1.111×10^{5}	1.722×10^{2}	1.196	0.133	1

3. 体积单位换算（表1-4）

表1-4 体积单位换算

米^3（m^3）	升（L）	厘米^3（cm^3）	英寸^3（in^3）	英尺^3（ft^3）	美加仑（USgal）	英加仑（UKgal）
1	10^{3}	10^{6}	6.102×10^{4}	35.315	2.642×10^{2}	2.200×10^{2}
10^{-3}	1	10^{3}	61.024	3.532×10^{-2}	0.264	0.220
10^{-6}	10^{-3}	1	6.102×10^{-2}	3.532×10^{-5}	2.642×10^{-4}	2.200×10^{-4}
1.639×10^{-5}	1.639×10^{-2}	16.387	1	5.787×10^{-4}	4.329×10^{-3}	3.605×10^{-3}
2.832×10^{-2}	28.317	2.832×10^{4}	1.728×10^{3}	1	7.481	6.229
3.785×10^{-3}	3.785	3.785×10^{3}	2.310×10^{2}	0.134	1	0.833
4.546×10^{-3}	4.546	4.546×10^{3}	2.775×10^{2}	0.161	1.201	1

4. 质量单位换算（表 1-5）

表 1-5　质量单位换算

千克（kg）	克（g）	毫克（mg）	吨（t）	英吨（ton）	美吨（shton）	磅（lb）
1000			1	0. 9842	1. 1023	2204. 6
1	1000		0. 001			2. 2046
0. 001	1	1000				
1016. 05			1. 0161	1	1. 12	2240
907. 19			0. 9072	0. 8929	1	2000
0. 4536	453. 59					1

注：1 千克即 1 公斤，英吨又名长吨（long ton），美吨又名短吨（short ton）。

5. 力单位换算（表 1-6）

表 1-6　力单位换算

牛顿（N）	千克力（kgf）	达因（dyn）	磅力（lbf）	磅达（pdl）
1	0. 102	10^{5}	0. 2248	7. 233
9. 80665	1	9.80665×10^{5}	2. 2046	70. 93
10^{-5}	1.02×10^{-5}	1	2.248×10^{-6}	7.233×10^{-5}
4. 448	0. 4536	4.448×10^{5}	1	32. 174
0. 1383	1.41×10^{-2}	1.383×10^{4}	3.108×10^{-2}	1

6. 压力单位换算（表 1-7）

表 1-7　压力单位换算

工程大气压（at）	标准大气压（atm）	千克力/毫米^2（kgf/mm^2）	毫米水柱（mmH_2O）	毫米汞柱（mmHg）	牛顿/米^2（N/m^2）
1	0.9678	0.01	10^4	735.6	98067
1.033	1		10332	760	101325
100	96.78	1	10^6	73556	98.07×10^5
0.0001	0.9678×10^{-4}		1	0.0736	9.807
0.00136	0.00132		13.6	1	133.32
1.02×10^{-5}	0.99×10^{-5}	1.02×10^{-7}	0.102	0.0075	1

7. 功率单位换算（表 1-8）

表 1-8　功率单位换算

瓦（W）	千瓦（kW）	米制马力（PS）	英制马力（hp）	千克力·米/秒（kgf·m/s）	英尺·磅力/秒（ft·lbf/s）	千卡/秒（kcal/s）
1	10^{-3}	1.36×10^{-3}	1.341×10^{-3}	0.102	0.7376	239×10^{-6}
1000	1	1.36	1.341	102	737.6	0.239
735.5	0.7355	1	0.9863	75	542.5	0.1757
745.7	0.7457	1.014	1	76.04	550	0.1781
9.807	9.807×10^{-3}	13.33×10^{-3}	13.15×10^{-3}	1	7.233	2.342×10^{-3}
1.356	1.356×10^{-3}	1.843×10^{-3}	1.82×10^{-3}	0.1383	1	0.324×10^{-3}
4186.8	4.187	5.692	5.614	426.935	3083	1

8. 速度单位换算（表 1-9）

表 1-9　速度单位换算

米/秒（m/s）	千米/时（km/h）	英尺/秒（ft/s）
1	3. 600	3. 281
0. 278	1	0. 911
0. 305	1. 097	1

9. 角速度单位换算（表 1-10）

表 1-10　角速度单位换算

弧度/秒（rad/s）	转/分（r/min）	转/秒（r/s）
1	9. 554	0. 159
0. 105	1	0. 017
6. 283	60	1

1. 2. 2　π 的重要函数及 π、25. 4 的近似分数

1. π 的重要函数（表 1-11）

表 1-11　π 的重要函数

π	3. 141593	$\frac{1}{\pi}$	0. 318310
π^2	9. 869604	$\frac{1}{\pi^2}$	0. 101321
$\sqrt{\pi}$	1. 772454	$\sqrt{\frac{1}{\pi}}$	0. 564190

（续）

$\sqrt{2\pi}$	2.506628	$\sqrt{\frac{1}{2\pi}}$	0.398942
$\sqrt{\frac{\pi}{2}}$	1.253314	$\sqrt{\frac{2}{\pi}}$	0.797885
$\sqrt[3]{\pi}$	1.464592	$\sqrt[3]{\frac{1}{\pi}}$	0.682784

2. π的近似分数（表 1-12）

表 1-12　π的近似分数

近似分数	误差
$\pi \approx 3.1400000 = \frac{157}{50}$	0.0015927
$\pi \approx 3.1428571 = \frac{22}{7}$	0.0012644
$\pi \approx 3.1418181 = \frac{32 \times 27}{25 \times 11}$	0.0002254
$\pi \approx 3.1417322 = \frac{19 \times 21}{127}$	0.0001395
$\pi \approx 3.1417112 = \frac{25 \times 47}{22 \times 17}$	0.0001185
$\pi \approx 3.1417004 = \frac{8 \times 97}{13 \times 19}$	0.0001077
$\pi \approx 3.1416666 = \frac{13 \times 29}{4 \times 30}$	0.0000739
$\pi \approx 3.1415929 = \frac{5 \times 71}{113}$	0.0000002

3. 25.4 的近似分数（表 1-13）

表 1-13　25.4 的近似分数

近似分数	误差
$25.40000=\frac{127}{5}$	0
$25.41176=\frac{18\times24}{17}$	0.01176
$25.39683=\frac{40\times40}{7\times9}$	0.00317
$25.38461=\frac{11\times30}{13}$	0.01539

注：25.4 常用于英制与米制单位换算。

1.2.3　常用几何图形计算

1. 常用几何图形的面积计算公式（表 1-14）

表 1-14　常用几何图形的面积计算公式

名称	图形	计算公式
正方形	a, d, a	面积 $A=a^2$ $a=0.707d$ $d=1.414a$

（续）

名称	图　　形	计 算 公 式
长方形		面积 $A=ab$ $d=\sqrt{a^2+b^2}$ $a=\sqrt{d^2-b^2}$ $b=\sqrt{d^2-a^2}$
平行四边形		面积 $A=bh$ $h=\dfrac{A}{b}$ $b=\dfrac{A}{h}$
菱形		面积 $A=\dfrac{dh}{2}$ $a=\dfrac{1}{2}\sqrt{d^2+h^2}$ $h=\dfrac{2A}{d};d=\dfrac{2A}{h}$
梯形		面积 $A=\dfrac{a+b}{2}h$ $m=\dfrac{a+b}{2}$ $h=\dfrac{2A}{a+b}$ $a=\dfrac{2A}{h}-b$ $b=\dfrac{2A}{h}-a$

（续）

名称	图　形	计算公式
斜梯形		面积 $A=\dfrac{(H+h)a+bh+cH}{2}$
等边三角形		面积 $A=\dfrac{ah}{2}=0.433a^2$ $=0.578h^2$ $a=1.155h$ $h=0.866a$
直角三角形		面积 $A=\dfrac{ab}{2}$ $c=\sqrt{a^2+b^2}$ $h=\dfrac{ab}{c}$
圆形		面积 $A=\dfrac{1}{4}\pi D^2$ $=0.7854D^2=\pi R^2$ 周长 $c=\pi D$ $D=0.318c$

（续）

名称	图　　形	计 算 公 式
椭圆形		面积 $A=\pi ab$
圆环形		面积 $A=\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)$ $=0.785(D^2-d^2)$ $=\pi(R^2-r^2)$
扇形		面积 $A=\frac{\pi R^2\alpha}{360°}$ $=0.008727\alpha R^2=\frac{Rl}{2}$ $l=\frac{\pi R\alpha}{180°}=0.01745R\alpha$
弓形		面积 $A=\frac{lR}{2}-\frac{L(R-h)}{2}$ $R=\frac{L^2+4h^2}{8h}$ $h=R-\frac{1}{2}\sqrt{4R^2-L^2}$

（续）

名称	图形	计算公式
局部圆环形	α d D R r	面积 $A=\frac{\pi\alpha}{360°}(R^2-r^2)$ $=0.00873\alpha(R^2-r^2)$ $=\frac{\pi\alpha}{4\times360°}(D^2-d^2)$ $=0.00218\alpha(D^2-d^2)$
抛物线弓形	b h	面积 $A=\frac{2}{3}bh$
角椽	r c	面积 $A=r^2-\frac{\pi r^2}{4}$ $=0.215r^2$ $=0.1073c^2$

（续）

名称	图　　形	计 算 公 式
正多边形		面积 $A=\frac{SK}{2}n$ $=\frac{1}{2}nSR\cos\frac{\alpha}{2}$ 圆心角 $\alpha=\frac{360°}{n}$ 内角 $\gamma=180°-\frac{360°}{n}$ 式中　S——正多边形边长 n——正多边形边数

2. 常用几何体的表面积和体积的计算公式（表1-15）

表1-15　常用几何体的表面积和体积的计算公式

名称	图　　形	计 算 公 式
圆柱体		体积 $V=\pi R^2H$ $=\frac{1}{4}\pi D^2H$ 侧表面积 $A_0=2\pi RH$
斜底圆柱体		体积 $V=\pi R^2\frac{H+h}{2}$ 侧表面积 $A_0=\pi R(H+h)$

（续）

名称	图形	计算公式
空心圆柱体		体积 $V = \pi H(R^2 - r^2)$ $= \frac{1}{4}\pi H(D^2 - d^2)$ 侧表面积 $A_0 = 2\pi H(R + r)$
圆锥体		体积 $V = \frac{1}{3}\pi HR^2$ 侧表面积 $A_0 = \pi Rl$ $= \pi R\sqrt{R^2 + H^2}$ 母线 $l = \sqrt{R^2 + H^2}$
截顶圆锥体		体积 $V = (R^2 + r^2 + Rr)\frac{\pi H}{3}$ 侧表面积 $A_0 = \pi l(R + r)$ 母线 $l = \sqrt{H^2 + (R - r)^2}$

（续）

名称	图　形	计算公式
正方体		体积 $V=a^3$
长方体		体积 $V=abH$
角锥体		体积 $V=\frac{1}{3}H\times$底面积 $=\frac{na^2H}{12}\cot\frac{\alpha}{2}$ 式中　n——正多边形边数 $\alpha=\frac{360°}{n}$

（续）

名称	图　　形	计算公式
截顶角锥体		体积 $V=\frac{1}{3}H(A_1+A_2+\sqrt{A_1A_2})$ 式中　A_1——顶面积 A_2——底面积
正方锥体		体积 $V=\frac{1}{3}H(a^2+b^2+ab)$
正六棱柱		体积 $V=2.598a^2H$

（续）

名称	图　　形	计 算 公 式
球体		体积 $V=\frac{4}{3}\pi R^3$ $=\frac{1}{6}\pi D^3$ 表面积 $A_n=12.57R^2$ $=3.142D^2$
圆球环体		体积 $V=2\pi^2 Rr^2$ $=19.739Rr^2$ $=\frac{1}{4}\pi^2 Dd^2$ $=2.4674Dd^2$ 表面积 $A_n=4\pi^2 Rr$ $=39.48Rr$
截球体		体积 $V=\frac{1}{6}\pi H(3r^2+H^2)$ $=\pi H^2\left(R-\frac{H}{3}\right)$ 侧表面积 $A_0=2\pi RH$

（续）

名称	图　　形	计 算 公 式
球台体		体积 $V=\frac{1}{6}\pi H[3(r_1^2+r_2^2)+H^2]$ 侧表面积 $A_0=2\pi RH$

1.2.4　圆周等分尺寸计算（表 1-16）

表 1-16　圆周等分尺寸计算

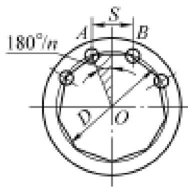
名称	图　　形	计 算 公 式
内接正三角形		$D=1.155(H+d)$ $H=\frac{D-1.155d}{1.155}$
		$D=1.154S$ $S=0.866D$

（续）

名称	图　形	计算公式
内接四边形	D a S S₁	$D=1.414S$ $S=0.707D$ $S_1=0.854D$ $a=0.147D=\dfrac{D-S}{2}$
内接正五边形	S D H	$D=1.701S$ $S=0.588D$ $H=0.951D=1.618S$
内接正六边形	D S₁ S₂ S a	$D=2S=1.155S_1$ $S=\dfrac{1}{2}D$ $S_1=0.866D$ $S_2=0.933D$ $a=0.067D=\dfrac{D-S_1}{2}$

1.2.5 圆周等分系数表（表1-17）

表1-17 圆周等分系数表



$$S = D\sin\frac{180°}{n} = DK$$

$$K = \sin\frac{180°}{n}$$

式中 n——等分数

K——圆周等分系数（查表）

等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K
3	0.86603	16	0.19509
4	0.70711	17	0.18375
5	0.58779	18	0.17365
6	0.50000	19	0.16459
7	0.43388	20	0.15643
8	0.38268	21	0.14904
9	0.34202	22	0.14232
10	0.30902	23	0.13617
11	0.28173	24	0.13053
12	0.25882	25	0.12533
13	0.23932	26	0.12054
14	0.22252	27	0.11609
15	0.20791	28	0.11197

（续）

等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K
29	0. 10812	49	0. 064073
30	0. 10453	50	0. 062791
31	0. 10117	51	0. 061560
32	0. 098015	52	0. 060379
33	0. 095056	53	0. 059240
34	0. 092269	54	0. 058145
35	0. 089640	55	0. 057090
36	0. 087156	56	0. 056071
37	0. 084805	57	0. 055087
38	0. 082580	58	0. 054138
39	0. 080466	59	0. 053222
40	0. 078460	60	0. 052336
41	0. 076549	61	0. 051478
42	0. 074731	62	0. 050649
43	0. 072995	63	0. 049845
44	0. 071339	64	0. 049067
45	0. 069756	65	0. 048313
46	0. 068243	66	0. 047581
47	0. 066792	67	0. 046872
48	0. 065403	68	0. 046183

（续）

等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K
69	0.045514	85	0.036951
70	0.044864	86	0.036522
71	0.044233	87	0.036102
72	0.043619	88	0.035692
73	0.043022	89	0.035291
74	0.042441	90	0.034899
75	0.041875	91	0.034516
76	0.041325	92	0.034141
77	0.040788	93	0.033774
78	0.040265	94	0.033415
79	0.039757	95	0.033064
80	0.039260	96	0.032719
81	0.038775	97	0.032331
82	0.038302	98	0.032051
83	0.037841	99	0.031728
84	0.037391	100	0.031410

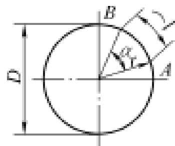
例　在直径 $D=80\text{mm}$ 的圆周上钻 31 个等距离的小孔，求两孔的中心距 S。

解　查表 1-17，31 等分时系数 $K=0.10117$，

$$S=DK=80\text{mm}\times0.10117=8.09\text{mm}$$

1.2.6 角度与弧度换算（表 1-18）

表 1-18 角度与弧度换算



AB 弧长 $l = r \times$ 弧度数

或 $l = 0.017453 r\alpha$（弧度）

$= 0.008727 D\alpha$（弧度）

角度	弧度(rad)	角度	弧度(rad)	角度	弧度(rad)
1″	0.000005	6′	0.001745	20°	0.349066
2″	0.000010	7′	0.002036	30°	0.523599
3″	0.000015	8′	0.002327	40°	0.698132
4″	0.000019	9′	0.002618	50°	0.872665
5″	0.000024	10′	0.002909	60°	1.047198
6″	0.000029	20′	0.005818	70°	1.221730
7″	0.000034	30′	0.008727	80°	1.396263
8″	0.000039	40′	0.011636	90°	1.570796
9″	0.000044	50′	0.014544	100°	1.745329
10″	0.000048	1°	0.017453	120°	2.094395
20″	0.000097	2°	0.034907	150°	2.617994
30″	0.000145	3°	0.052360	180°	3.141593
40″	0.000194	4°	0.069813	200°	3.490659
50″	0.000242	5°	0.087266	250°	4.363323
1′	0.000291	6°	0.104720	270°	4.712389
2′	0.000582	7°	0.122173	300°	5.235988
3′	0.000873	8°	0.139626	360°	6.283185
4′	0.001164	9°	0.157080	1rad（弧度）= 57°17′44.8″	
5′	0.001454	10°	0.174533		

1.2.7 内圆弧与外圆弧计算（表 1-19）

表 1-19 内圆弧与外圆弧计算

名称	圆　形	计算公式	应用举例
内圆弧		$r=\dfrac{d(d+H)}{2H}$ $H=\dfrac{d^2}{2\left(r-\dfrac{d}{2}\right)}$	［例］ 已知钢柱直径 $d=20\text{mm}$，深度游标卡尺读数 $H=2.3\text{mm}$，求圆弧工件的半径 r ［解］ $r=\dfrac{20(20+2.3)}{2\times2.3}\text{mm}$ $\approx96.96\text{mm}$
外圆弧		$r=\dfrac{(L-d)^2}{8d}$	［例］ 已知钢柱直径 $d=25.4\text{mm}$，$L=158.699\text{mm}$，求外圆弧半径 r ［解］ $r=\dfrac{(L-d)^2}{8d}=[(158.699-25.4)^2/(8\times25.4)]\text{mm}=87.444\text{mm}$

1.2.8 V 形槽宽度、角度计算（表 1-20）

表 1-20 V 形槽宽度、角度计算

名称	圆 形	计算公式	应用举例
V 形槽宽度		$B=2\tan\alpha\left(\dfrac{R}{\sin\alpha}+R-h\right)$	［例］ 已知钢柱半径 $R=12.5\text{mm}$，$\alpha=30°$，$H=9.52\text{mm}$，求槽宽度 ［解］ $B=2\tan30°\times\left(\dfrac{12.5}{\sin30°}+12.5-9.52\right)\text{mm}\approx32.309\text{mm}$
V 形槽角度		$\sin\alpha=\dfrac{R-r}{(H_2-R)-(H_1-r)}$	［例］ 已知大钢柱半径 $R=15\text{mm}$，小钢柱半径 $r=10\text{mm}$，高度游标卡尺读数 $H_2=55.6\text{mm}$，$H_1=43.53\text{mm}$，求 V 形槽斜角 α ［解］ $\sin\alpha=\dfrac{15-10}{(55.6-15)-(43.53-10)}\approx0.7072$ $\alpha=45°0'27''$

1.2.9 燕尾与燕尾槽宽度计算（表 1-21）

表 1-21 燕尾与燕尾槽宽度计算

图　形	计算公式	应用举例
	$l=b+d\left(1+\cot\frac{\alpha}{2}\right)$ $b=l-d\left(1+\cot\frac{\alpha}{2}\right)$	［例］ 已知钢柱直径 $d=10\text{mm}$，$b=60\text{mm}$，$\alpha=55°$，求 l 读数 ［解］ $l=60\text{mm}+10\text{mm}\times(1+1.9210)\approx89.21\text{mm}$
	$l=b-d\left(1+\cot\frac{\alpha}{2}\right)$ $b=l+d\left(1+\cot\frac{\alpha}{2}\right)$	［例］ 已知钢柱直径 $d=10\text{mm}$，$b=72\text{mm}$，$\alpha=55°$，求 l 读数 ［解］ $l=72\text{mm}-10\text{mm}\times(1+1.9210)=42.79\text{mm}$

1.2.10 内圆锥与外圆锥计算（表 1-22）

表 1-22 内圆锥与外圆锥计算

名称	图　　形	计算公式	应用举例
外圆锥		$\tan\alpha=\dfrac{L-l}{2H}$	［例］ 已知游标卡尺读数，$L=32.7\text{mm}$，$l=28.5\text{mm}$，$H=15\text{mm}$，求斜角 α ［解］ $\tan\alpha=\dfrac{32.7-28.5}{2\times15}$ $=0.1400$ $\alpha=7°58'11''$

（续）

名称	图　　形	计算公式	应用举例
内圆锥		$\sin\alpha=\dfrac{R-r}{L}$ $=\dfrac{R-r}{H+r-R-h}$	［例］　已知大钢球半径 $R=10\text{mm}$，小钢球半径 $r=6\text{mm}$，深度游标卡尺读数 $H=24.5\text{mm}$，$h=2.2\text{mm}$，求斜角 α ［解］　$\sin\alpha=\dfrac{10-6}{24.5+6-10-2.2}\approx0.2186$ $\alpha=12°37'$

（续）

名称	图　　形	计算公式	应用举例
内圆锥		$\sin\alpha=\dfrac{R-r}{L}$ $=\dfrac{R-r}{H+h-R+r}$	［例］　已知大钢球半径 $R=10\text{mm}$，小钢球半径 $r=6\text{mm}$，深度游标卡尺读数 $H=18\text{mm}$，$h=1.8\text{mm}$，求斜角 α ［解］　$\sin\alpha=\dfrac{10-6}{18+1.8-10+6}\approx0.2532$ $\alpha=14°40'$

1.3 工件定位误差计算

1.3.1 工件定位原理及其应用

使工件在夹具上迅速得到正确位置的方法称为定位。工件用来定位的各表面称为定位基准面。在夹具上用来支持工件定位基准面的表面称为支承面。基准面的选定应尽可能与工件的原始基准重合，以减小定位误差。工件的定位要符合六点定位原理。

1. 六点定位原理

一个位于任意空间的自由物体，相对于三个互相垂直的坐标平面，都可以分解成六个方向的运动，即沿坐标轴 *Ox*、*Oy*、*Oz* 的移动和绕这三个轴的转动（图 1-5）。

要使工件在夹具的某个方向上有确定的位置，必须要限制该方向的自由度。要使工件在夹具上处于稳定不变的位置，就必须限制工件的六个自由度。所以，定位就是限制自由度。

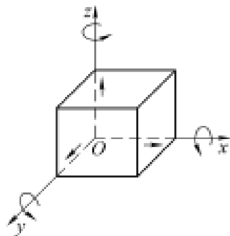


图 1-5 物体在空间具有的六个自由度

在图 1-6 中，*xOy* 平面称为主基准面，上面分布三个支承点，限制工件的三个自由度，即沿 *Oz* 轴平移和绕 *Ox*、*Oy* 轴转动。如果把三个支承点连成三角形，那么三角形面积越大，工件就越稳固，也越能保证工件的相对位置精度。因此，通常选取工件上最大的表面作为主基准面。*yOz* 平面称为导向基准面，上面分布两个支承点，限制工件沿 *Ox* 轴平移及绕 *Oz* 轴转动。两点相距越远，定位就越准确。通常选取工件上最长的表面作为导向基准面。*zOx* 平面称为支承基准面，上面分布一个支承点，限制工件最

后一个自由度，即沿 Oy 轴平移。这一支承点，通常选取在工件的最短、最狭窄的表面上。

这种正确选取和分布六个支承点来限制工件在夹具中的位置的规律，称为六点定位原理。

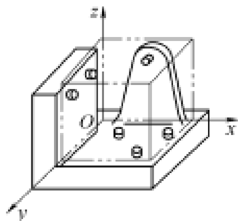


图 1-6　工件的六点定位

2. 工件的定位要求

在实际工作中，工件的定位不一定都要把六个自由度完全加以限制，而应根据工序的要求、定位的形式以及布置的情况来决定限制自由度的数量。

（1）完全定位　工件定位时，其六个自由度全部被限制的定位称为完全定位。

（2）不完全定位　工件根据该工序的加工要求只需限制其部分自由度，但不影响该工序加工要求时称为不完全定位。

（3）欠定位　工件实际定位所限制的自由度数目，少于按该工序加工要求必须限制的自由度数目称为欠定位。欠定位的结果将导致应该限制的自由度未被限制，从而无法保证加工要求。

（4）过定位　工件定位时，如果出现两个或两个以上的定位支承点重复限制工件上的同一个自由度则称为过定位。过定位会导致重复限制同一个自由度的定位支承点之间产生干涉现象，从而导致定位不稳定，破坏定位精度。

实际生产应用中，过定位并不是必须完全避免的。有时为了加强工件刚性，或者其他特殊原因，必须使用超过六个支承点的定位元件或采用辅助的活动支承点。

1.3.2 常用定位方法和定位元件所能限制的自由度（表 1-23）

表 1-23 常用定位方法和定位元件所能限制的自由度

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
平面	支承钉	z、O、x、y、1、2、3、4、5、6		1、2、3—$\overset{\leftrightarrow}{z}$、$\overset{\frown}{x}$、$\overset{\frown}{y}$ 4、5—$\overset{\leftrightarrow}{y}$、$\overset{\frown}{z}$ 6—$\overset{\leftrightarrow}{x}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
平面	支承板			1、2—$\overleftrightarrow{z}$、$\overset{\curvearrowright}{x}$、$\overset{\curvearrowright}{y}$ 3—$\overleftrightarrow{y}$、$\overset{\curvearrowright}{z}$
外圆柱面	支承板			$\overleftrightarrow{z}$、$\overset{\curvearrowright}{x}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
外圆柱面	定位套		短套	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$
			长套	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$ $\overset{\curvearrowright}{x}$、$\overset{\curvearrowright}{y}$
	V 形块		短 V 形块	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{z}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
外圆柱面	V 形块		长 V 形块	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{z}$ $\overset{\frown}{x}$、$\overset{\frown}{z}$
	锥套	固定锥套　活动锥套	固定锥套	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$、$\overleftrightarrow{z}$
			活动锥套	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
圆孔	定位销	短销　长销	短销	$\overset{\leftrightarrow}{x}$、$\overset{\leftrightarrow}{y}$
			长销	$\overset{\leftrightarrow}{x}$、$\overset{\leftrightarrow}{y}$ $\overset{\frown}{x}$、$\overset{\frown}{y}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
圆孔	心轴		短心轴	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{z}$
			长心轴	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{z}$ $\overset{\frown}{x}$、$\overset{\frown}{z}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
圆孔	锥销	固定锥销　活动锥销	固定锥销	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$、$\overleftrightarrow{z}$
			活动锥销	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$
	锥形心轴		小锥度	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$、$\overleftrightarrow{z}$ $\overset{\frown}{y}$、$\overset{\frown}{z}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
圆孔	削边销		削边销	$\overset{\leftrightarrow}{x}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
二锥孔组合	顶尖		一个固定、一个回转顶尖组合	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$、$\overleftrightarrow{z}$ $\overset{\curvearrowright}{y}$、$\overset{\curvearrowright}{z}$
平面和孔组合	支承板、短销和挡销		支承板、短销和挡销组合	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$、$\overleftrightarrow{z}$ $\overset{\curvearrowright}{x}$、$\overset{\curvearrowright}{y}$、$\overset{\curvearrowright}{z}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
平面和孔组合	支承板和削边销		支承板和削边销组合	$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{y}$、$\overleftrightarrow{z}$ $\overset{\frown}{x}$、$\overset{\frown}{y}$、$\overset{\frown}{z}$

（续）

工件定位基面	定位元件	工件定位简图	定位元件特点	能限制的工件自由度
V形面和平面组合	定位圆柱、支承板和支承钉		定位圆柱、支承板和支承钉组合	定位圆柱：$\overleftrightarrow{x}$、$\overleftrightarrow{z}$、$\overset{\frown}{x}$、$\overset{\frown}{z}$ 支承板：$\overset{\frown}{x}$、$\overset{\frown}{y}$ 挡销：$\overleftrightarrow{y}$ $\overset{\frown}{x}$：定位圆柱和支承板重复限制

1.3.3 定位误差的计算

1. 用圆柱心轴对工件圆柱孔定位时的定位基准位移误差计算

工件以已加工孔为定位基准，套在心轴上加工外圆，如图1-7所示。由于工件孔的制造误差、心轴的制造误差和配合间隙的存在，必然使工件定位基准相对定位元件支承面发生位移，这种位移误差量可用下式计算：

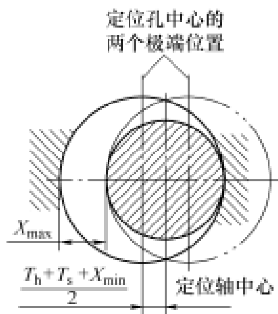


图1-7 用圆柱心轴定位的基准位移误差

$$\Delta_{位移}=\frac{T_h+T_s+X_{min}}{2}=\frac{D_{工max}-d_{夹min}}{2}$$

式中 $\Delta_{位移}$——定位基准位移误差（mm）；

T_h——孔的制造公差（mm）；

T_s——心轴的制造公差（mm）；

X_{min}——最小配合间隙（mm）；

$D_{工max}$——工件定位孔的上极限尺寸（mm）；

$d_{夹min}$——心轴的下极限尺寸（mm）。

例 用圆柱心轴对工件圆柱孔定位，若工件定位孔的尺寸为 $\phi35^{+0.027}_{0}$ mm，心轴的尺寸为 $\phi35^{-0.010}_{-0.027}$ mm，求定位基准位移误差。

解 孔的公差 $T_h=0.027$mm，心轴的公差 $T_s=0.017$mm，最小配合间隙 $X_{min}=0.01$mm，则

$$\Delta_{位移}=\frac{T_h+T_s+X_{min}}{2}=\frac{0.027+0.017+0.01}{2}\text{mm}$$

$$=0.027\text{mm}$$

也可用下式计算：

$$\Delta_{位移}=\frac{D_{工max}-d_{夹min}}{2}=\frac{35.027-34.973}{2}\text{mm}$$

$$=0.027\text{mm}$$

例 现有一内孔为 $\phi60^{+0.03}_{0}$ mm 的齿轮坯，装在直径为 $\phi60^{-0.010}_{-0.023}$ mm 的心轴上加工外圆，若工件要求外圆与内孔的同轴度误差在 $\phi0.03$mm 内，试判断加工后能否保证质量。

解 已知 $T_h=0.03$mm，$T_s=0.013$mm，$X_{min}=0-(-0.010)\text{mm}=0.010$mm，则

$$\Delta_{位移}=\frac{T_h+T_s+X_{min}}{2}=\frac{0.03+0.013+0.010}{2}\text{mm}$$

$$=\frac{0.053}{2}\text{mm}=0.0265\text{mm}$$

计算结果表明，$\Delta_{位移}$小于工件同轴度公差要求，所以加工质量可以保证。

2. 用定位套对工件外圆柱面定位时的定位基准位移误差计算

工件以已加工的外圆柱面和端面为定位基准，在定位套中定位时，所产生的位移量可用下式计算：

$$\Delta_{位移}=\frac{T_h+T_s+X_{min}}{2}=\frac{D_{夹max}-d_{工min}}{2}$$

式中 $\Delta_{位移}$——定位基准位移误差（mm）；
T_h——夹具定位孔的制造公差（mm）；
T_s——工件外圆柱面的制造公差（mm）；
X_{min}——最小配合间隙（mm）；
$D_{夹max}$——夹具孔的上极限尺寸（mm）；
$d_{工min}$——工件外圆柱面的下极限尺寸（mm）。

3. 用V形块对工件圆柱面定位时的定位基准位移误差计算

采用V形块定位，可保证工件轴线在水平方向的位移误差等于零，但在垂直方向有位移误差，并与工件直径误差、V形块夹角 α 有关。如图1-8所示，用V形块定位时的基准位移误差为

$$\Delta_{工位移}=\frac{T_s}{2\sin\frac{\alpha}{2}}$$

式中 $\Delta_{工位移}$——工件轴线在垂直方向的位移误差（mm）；
T_s——工件定位圆柱直径公差（mm）；
α——V形块夹角（°）。

当 $\alpha=90°$ 时，$\Delta_{工位移}=0.707T_s$（mm）；

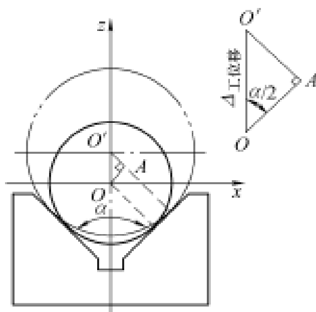


图 1-8　V 形块定位时的误差分析

当 $\alpha=120°$ 时，$\Delta_{工位移}=0.578T_s$（mm）。

例　图 1-9 所示的曲轴零件，以 $\phi32_{-0.02}^{0}$ mm 外圆装夹在车床花盘角铁上的 90° V 形块中（图 1-10），车削 $\phi22_{-0.023}^{0}$ mm 曲轴外圆。试计算用这种定位方法能否保证工件中心距（64 ±0.05）mm 的要求。

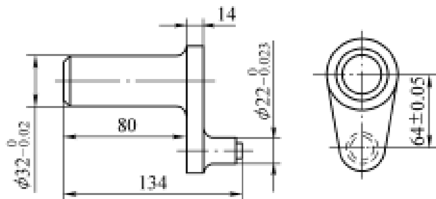


图 1-9　曲轴

解　已知 $T_s=0.02$mm，$\alpha=90°$，则

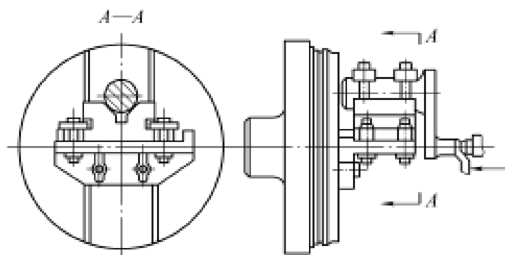


图 1-10　曲轴的装夹

$$\Delta_{工位移} = \frac{T_s}{2\sin\frac{\alpha}{2}} = 0.707T_s = 0.707 \times 0.02\text{mm}$$

$$= 0.014\text{mm}$$

因 0.014mm≤0.05mm，故能保证工件中心距的要求。

1.4　切削加工通用技术条件（JB/T 8828—2001）

1.4.1　一般要求

1）所有经过切削加工的零件都应符合产品图样和本标准的要求。

2）零件的加工面不允许有锈蚀和影响性能、寿命或外观的磕、碰、划伤等缺陷。

3）除有特殊要求外，加工后的零件不允许有尖棱、尖角和毛刺。

① 零件图样中未注明倒角高度时，应按表 1-24 的规定进行倒角。

表 1-24　零件未注明倒角高度时规定的倒角尺寸

（单位：mm）

D（d）	c
<5	0.2
5 ~ 30	0.5
30 ~ 100	1
100 ~ 250	2
250 ~ 500	3
500 ~ 1000	4
>1000	5

② 零件图样中未注明倒圆半径，又无清根要求时，按表 1-25 的规定倒圆。

表 1-25　零件未注明倒圆时规定的倒圆尺寸

（单位：mm）

D（d）	D^*	r
<4	3 ~ 10	0.4
4 ~ 12	10 ~ 30	1
12 ~ 30	30 ~ 80	2
30 ~ 80	80 ~ 260	4
80 ~ 140	260 ~ 630	8
140 ~ 200	630 ~ 1000	12
>200	>1000	20

注：1. D^* 值用于不通孔和外端面倒圆。

2. 非圆柱面的倒圆可参照此表。

4）滚压精加工的表面，滚压后不得有脱皮现象。

5）经过热处理的工件，精加工时不得产生烧伤、裂纹等缺陷。

6）不允许在精加工后的配合面、摩擦面和定位面等工件表面上打印标记。

7）采用一般公差的要素在图样上不单独注出其公差，而是在图样上、技术要求或技术文件（如企业标准）中做出总的说明，表示方法按 GB/T 1804—2000 和 GB/T 1184—1996 的规定。

1.4.2 线性尺寸的一般公差

1）线性尺寸（不包括倒圆半径和倒角高度）的极限偏差按 GB/T 1804—2000 中的 f 级和 m 级选取，其数值见表 1-26。

表 1-26 线性尺寸的极限偏差数值

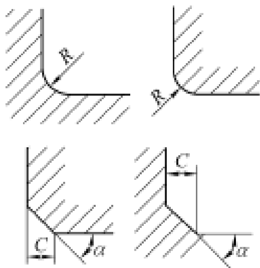
（单位：mm）

等级	尺寸分段			
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30~120
f（精密级）	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15
m（中等级）	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3
等级	尺寸分段			
	>120~400	>400~1000	>1000~2000	>2000~4000
f（精密级）	±0.2	±0.3	±0.5	—
m（中等级）	±0.5	±0.8	±1.2	±2

2）倒角高度和倒圆半径按 GB/T 6403.4—2008 的规定选取，其尺寸的极限偏差数值按 GB/T 1804—2000 中 f 级和 m 级选取，其数值见表 1-27。

表 1-27　倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值

（单位：mm）



等　　级	尺寸分段			
	0.5 ~3	>3 ~6	>6 ~30	>30
f（精密级）	±0.2	±0.5	±1	±2
m（中等级）	±0.4	±1	±2	±4

1.4.3　角度尺寸的一般公差

角度尺寸的极限偏差按 GB/T 1804—2000 选取，其数值见表 1-28。

表 1-28　角度尺寸的极限偏差数值

等　　级	长度/mm				
	≤10	>10～50	>50～120	>120～400	>400
m（中等级）	±1°	±30′	±20′	±10′	±5′
c（粗糙级）	±1°30′	±1°	±30′	±15′	±10′

注：长度值按短边长度确定。若为圆锥角，当锥度为1∶3～1∶500的圆锥，按圆锥长度确定；当锥度为大于1∶3的圆锥，按其母线长度确定。

1.4.4　几何公差的一般公差

1. 形状公差的一般公差

（1）直线度与平面度　图样上直线度和平面度的未注公差值按 GB/T 1184—1996 中 H 级或 K 级选用，其数值见表 1-29。

表 1-29　直线度和平面度的未注公差值

被测要素表面粗糙度 *Ra*/μm	直线度与平面度的公差等级	被测要素尺寸 *L*/mm					
		≤10	>10～30	>30～100	>100～300	>300～1000	>1000～3000
		公差值/mm					
0.01～1.60	H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
3.2～25	K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8

注：被测要素尺寸 *L*，对直线度公差值是指被测要素的长度尺寸；对平面度公差值是指被测表面轮廓的较大尺寸。

（2）圆度　图样上圆度的未注公差值等于直径公差

值，但不应大于 GB/T 1184—1996 中的径向圆跳动公差值，其值见表 1-30。

表 1-30　圆跳动的未注公差值

（单位：mm）

等　　级	径向圆跳动值
H	0. 1
K	0. 2

2. 方向公差的一般公差

（1）平行度　平行度的未注公差值等于给出的尺寸公差值，或是取直线度和平面度未注公差相应公差值的较大者。应取两要素中的较长者作为基准，若两要素的长度相等则可选任一要素为基准。

（2）垂直度　图样上垂直度的未注公差值按 GB/T 1184—1996 的规定选取，其数值见表 1-31。取形成直角的两边中较长的一边作为基准，较短的一边作为被测要素；若两边的长度相等，则可取其中的任意一边作为基准。

表 1-31　垂直度的未注公差值

（单位：mm）

等级	基本长度范围			
	≤100	>100～300	>300～1000	>1000～3000
H	0. 2	0. 3	0. 4	0. 5

3. 位置公差的一般公差

（1）对称度

1）图样上对称度的未注公差值（键槽除外）按GB/T 1184—1996中K级选用，其数值见表1-32。对称度应取两要素中较大者作为基准，较短者作为被测要素；若两要素长度相等，则可任选一要素作为基准。

表1-32　对称度的未注公差值

（单位：mm）

等级	基本长度范围			
	≤100	>100~300	>300~1000	>1000~3000
K	0.6		0.8	1.0

2）图样上键槽对称度的未注公差值按GB/T 1184—1996选用，其数值见表1-33。

表1-33　键槽对称度的未注公差值

（单位：mm）

键宽 *B*	对称度公差值	键宽 *B*	对称度公差值
2~3	0.020	>18~30	0.050
>3~6	0.025	>30~50	0.060
>6~10	0.030	>50~100	0.080
>10~18	0.040		

（2）同轴度　在极限状况下，同轴度的未注公差值可以与表1-30中规定的径向圆跳动的未注公差值相等。应选两要素中的较长者为基准，若两要素长度相等，则可任

选一要素为基准。

4. 圆跳动公差的一般公差

圆跳动（径向、轴向和斜向）的未注公差值见表1-30。

对于圆跳动的未注公差值，应以设计或工艺给出的支承面作为基准，否则应取两要素中较长的一个作为基准；若两要素长度相等，则可任选一要素为基准。

5. 中心距的极限偏差

当图样上未注明中心距的极限偏差时，按表1-34的规定选用。螺栓和螺钉尺寸按GB/T 5277—1985选取。

表1-34　任意两螺钉、螺栓孔中心距的极限偏差

（单位：mm）

螺钉或螺栓规格	M2～M6	M8～M10	M12～M18	M20～M24	M27～M30
任意两螺钉孔中心距极限偏差	±0.12	±0.25	±0.30	±0.50	±0.60
任意两螺栓孔中心距极限偏差	±0.25	±0.50	±0.75	±1.00	±1.25

螺钉或螺栓规格	M36～M42	M48	M56～M72	≥M80
任意两螺钉孔中心距极限偏差	±0.75	±1.00	±1.25	±1.50
任意两螺栓孔中心距极限偏差	±1.50	±2.00	±2.50	±3.00

1.4.5　螺纹

1）加工的螺纹表面不允许有黑皮、乱牙和毛刺等缺陷。

2）普通螺纹的收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸应按 GB/T 3—1997 的相应规定。

1.4.6　中心孔

零件图样中未注明中心孔的零件，加工中又需要中心孔时，在不影响使用和外观的情况下，加工后中心孔可以保留。中心孔的型式和尺寸根据需要按 GB/T 145—2001 的规定选取。

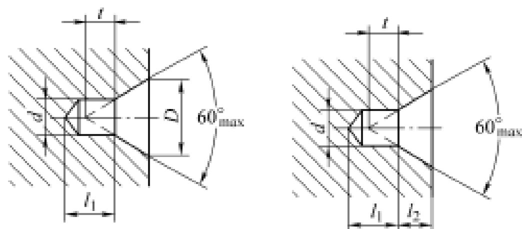
1.5　机械加工的一般标准规范

1.5.1　中心孔（GB/T 145—2001）

60°中心孔分 A 型、B 型、C 型、R 型 4 种型式（表 1-35 ~ 表 1-38）。

表 1-35　A 型中心孔的型式和尺寸

（单位：mm）



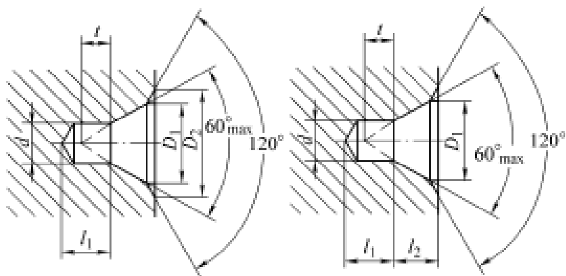
（续）

d	D	l_2	t 参考尺寸	d	D	l_2	t 参考尺寸
(0.50)	1.06	0.48	0.5	2.50	5.30	2.42	2.2
(0.63)	1.32	0.60	0.6	3.15	6.70	3.07	2.8
(0.80)	1.70	0.78	0.7	4.00	8.50	3.90	3.5
1.00	2.12	0.97	0.9	(5.00)	10.60	4.85	4.4
(1.25)	2.65	1.21	1.1	6.30	13.20	5.98	5.5
1.60	3.35	1.52	1.4	(8.00)	17.00	7.79	7.0
2.00	4.25	1.95	1.8	10.00	21.20	9.70	8.7

注：1. 尺寸 l_1 取决于中心钻的长度 l_1，即使中心钻重磨后再使用，此值也不应小于 t 值。
2. 表中同时列出了 D 和 l_2 尺寸，制造厂可任选其中一个尺寸。
3. 括号内的尺寸尽量不采用。

表 1-36　B 型中心孔的型式和尺寸

（单位：mm）



（续）

d	D_1	D_2	l_2	t 参考尺寸
1.00	2.12	3.15	1.27	0.9
（1.25）	2.65	4.00	1.60	1.1
1.60	3.35	5.00	1.99	1.4
2.00	4.25	6.30	2.54	1.8
2.50	5.30	8.00	3.20	2.2
3.15	6.70	10.00	4.03	2.8
4.00	8.50	12.50	5.05	3.5
（5.00）	10.60	16.00	6.41	4.4
6.30	13.20	18.00	7.36	5.5
（8.00）	17.00	22.40	9.36	7.0
10.00	21.20	28.00	11.66	8.7

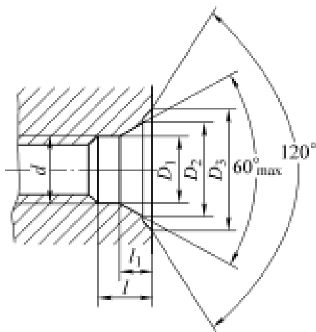
注：1. 尺寸 l_1 取决于中心钻的长度 l_1，即使中心钻重磨后再使用，此值也不应小于 t 值。

2. 表中同时列出了 D 和 l_2 尺寸，制造厂可任选其中一个尺寸。

3. 括号内的尺寸尽量不采用。

表 1-37　C 型中心孔的型式和尺寸

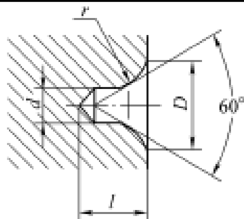
（单位：mm）



d	D_1	D_2	D_3	l	l_1 参考尺寸
M3	3. 2	5. 3	5. 8	2. 6	1. 8
M4	4. 3	6. 7	7. 4	3. 2	2. 1
M5	5. 3	8. 1	8. 8	4. 0	2. 4
M6	6. 4	9. 6	10. 5	5. 0	2. 8
M8	8. 4	12. 2	13. 2	6. 0	3. 3
M10	10. 5	14. 9	16. 3	7. 5	3. 8
M12	13. 0	18. 1	19. 8	9. 5	4. 4
M16	17. 0	23. 0	25. 3	12. 0	5. 2
M20	21. 0	28. 4	31. 3	15. 0	6. 4
M24	26. 0	34. 2	38. 0	18. 0	8. 0

表 1-38　R 型中心孔的型式和尺寸

（单位：mm）



d	D	l_{min}	r	
			max	min
1.00	2.12	2.3	3.15	2.50
（1.25）	2.65	2.8	4.00	3.15
1.60	3.35	3.5	5.00	4.00
2.00	4.25	4.4	6.30	5.00
2.50	5.30	5.5	8.00	6.30
3.15	6.70	7.0	10.00	8.00
4.00	8.50	8.9	12.50	10.00
（5.00）	10.60	11.2	16.00	12.50
6.30	13.20	14.0	20.00	16.00
（8.00）	17.00	17.9	25.00	20.00
10.00	21.20	22.5	31.50	25.00

注：括号内的尺寸尽量不采用。

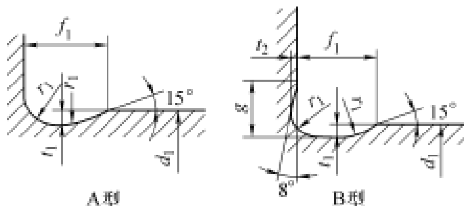
1.5.2 各类槽

1. 退刀槽

1）外圆退刀槽的各部尺寸见表 1-39。

表 1-39　外圆退刀槽的各部尺寸

（单位：mm）



r_1	t_1 +0.1	f_1	g ≈	t_2 −0.05	推荐的配合直径 d_1 用在一般载荷	推荐的配合直径 d_1 用在交变载荷
0.6	0.2	2	1.4	0.1	~18	—
	0.3	2.5	2.1	0.2	>18~80	
1	0.4	4	3.2	0.3	>80	
	0.2	2.5	1.8	0.1	—	>18~50
1.6	0.3	4	3.1	0.2		>50~80
2.5	0.4	5	4.8	0.3		>80~125
4	0.5	7	6.4	0.3		125

注：1. A 型（轴的配合面需磨削，轴肩不磨削）。

2. B 型（轴的配合面及轴肩皆需磨削）。

2）带槽孔的退刀槽见表 1-40。

表 1-40　带槽孔的退刀槽

图　　示	说　　明
	退刀槽直径 d_2 可按选用的平键或楔键而定 退刀槽的深度 t_2 一般为 20mm，如因结构上的原因 t_2 的最小值不得小于 10mm 退刀槽的表面粗糙度值一般选用 $Ra3.2\mu m$，根据需要也可选用 $Ra1.6\mu m$、$Ra0.8\mu m$、$Ra0.4\mu m$

2. 砂轮越程槽（GB/T 6403.5—2008）（表 1-41 ~ 表 1-45）

表 1-41　磨回转面及端面砂轮越程槽

（单位：mm）

a) 磨外圆　　b) 磨内圆　　c) 磨外端面

d) 磨内端面　　e) 磨外圆及端面　　f) 磨内圆及端面

（续）

b_1	0.6	1.0	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10
b_2	2.0	3.0		4.0		5.0		8.0	10
h	0.1	0.2		0.3	0.4		0.6	0.8	1.2
r	0.2	0.5		0.8	1.0		1.6	2.0	3.0
d	0～10			10～50		50～100		>100	

注：1. 越程槽内两直线相交处，不允许产生尖角。

2. 越程槽深度 h 与圆弧半径 r，要满足 $r<3h$。

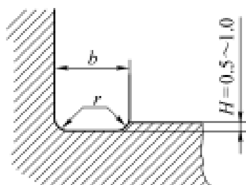
3. 磨削具有数个直径的工件时，可使用同一规格的越程槽。

4. 直径 d 值大的零件，允许选择小规格的砂轮越程槽。

5. 砂轮越程槽的尺寸公差和表面粗糙度根据该零件的结构、性能确定。

表 1-42　磨平面砂轮越程槽

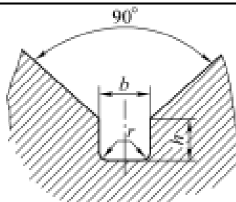
（单位：mm）



b	2	3	4	5
r	0.5	1.0	1.2	1.6

表 1-43　磨 V 形面砂轮越程槽

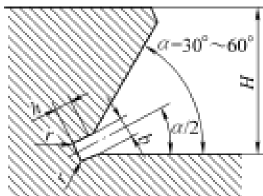
（单位：mm）



b	2	3	4	5
h	1. 6	2. 0	2. 5	3. 0
r	0. 5	1. 0	1. 2	1. 6

表 1-44　磨燕尾导轨面砂轮越程槽

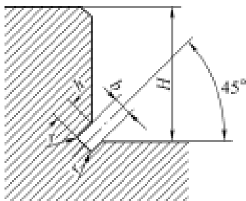
（单位：mm）



<table>
<tr><td>H</td><td>≤5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>16</td><td>20</td><td>25</td><td>32</td><td>40</td><td>50</td><td>63</td><td>80</td></tr>
<tr><td>b</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2" colspan="2">2</td><td rowspan="2" colspan="3">3</td><td rowspan="2" colspan="3">4</td><td rowspan="2" colspan="3">5</td><td rowspan="2">6</td></tr>
<tr><td>h</td></tr>
<tr><td>r</td><td>0. 5</td><td colspan="2">0. 5</td><td colspan="3">1. 0</td><td colspan="3">1. 6</td><td colspan="3">1. 6</td><td>2. 0</td></tr>
</table>

表 1-45　磨矩形导轨面砂轮越程槽

（单位：mm）

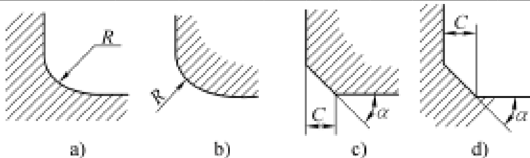


H	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
b	2				3				5		8	
h	1.6				2.0				3.0		5.0	
r	0.5				1.0				1.6		2.0	

1.5.3　倒圆与倒角（GB/T 6403.4—2008）（表 1-46～表 1-48）

表 1-46　倒圆尺寸 *R*、倒角尺寸 *C* 系列值

（单位：mm）



R、*C*	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0

R、*C*	5.0	6.0	8.0	10	12	16
	20	25	32	40	50	—

表 1-47　内角倒角、外角倒圆时 C 的最大值 C_{max} 与 R_1 的关系

（单位：mm）

a)　　b)　　c)　　d)

R_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0
C_{max}	—	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
R_1	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25
C_{max}	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12

表 1-48　与直径 ϕ 相应的倒角 C、倒圆 R 的推荐值

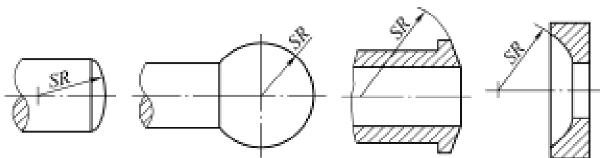
（单位：mm）

ϕ	0~3	>3~6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50
C 或 R	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.6
ϕ	>50~80	>80~120	>120~180	>180~250	>250~320	>320~400
C 或 R	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
ϕ	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600
C 或 R	8.0	10	12	16	20	25

1.5.4　球面半径（表 1-49）

表 1-49　球面半径系列值（GB/T 6403.1—2008）

（单位：mm）



第 1 系列	0.2	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4.0	6.0	10
第 2 系列	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	5.0	8.0	12
第 1 系列	16	20	25	32	40	50	63	80	
第 2 系列	18	22	28	36	45	56	71	90	
第 1 系列	100	125	160	200	250	320	400	500	
第 2 系列	110	140	180	220	280	360	450	560	
第 1 系列	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	
第 2 系列	710	900	1100	1400	1800	2200	2800		

注：优先选用表中第 1 系列。

1.5.5　螺纹零件

1. 紧固件外螺纹零件的末端（GB/T 2—2001）

1）紧固件公称长度以内的末端型式如图 1-11 所示。

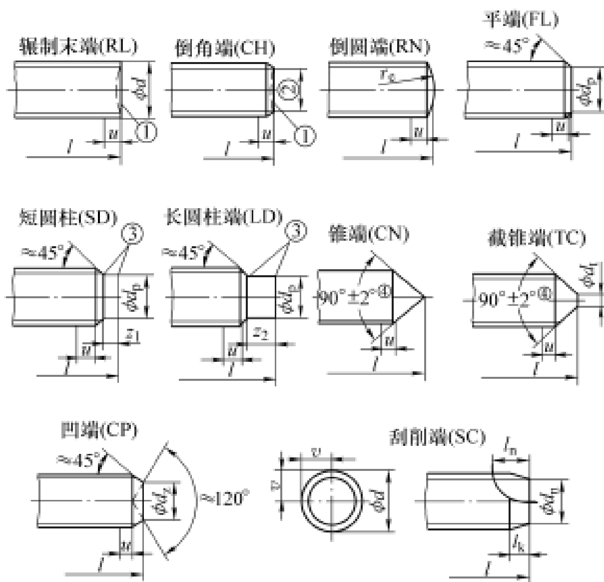


图 1-11　紧固件公称长度以内的末端型式

注：1. $r_e \approx 1.4d$；$u = 0.5d \pm 0.5$；$d_n = d - 1.6P$；$l_n \leqslant 5P$；$l_k \leqslant 3P$；$l_n - l_k \geqslant 2P$；P 为螺距。

2. l 为紧固件的公称长度。

3. 不完整螺纹的长度 $u \leqslant 2P$。

4. 对 FL、SD、LD 和 CP 型末端，45°仅指螺纹小径以下的末端部分。

图中：①端面可以是凹面。②长度不大于螺纹小径。③倒圆。④短螺钉为 120° ±2°，并按产品标准的规定，如GB/T 78—2007。

2）紧固件公称长度以外的末端型式如图 1-12 所示。

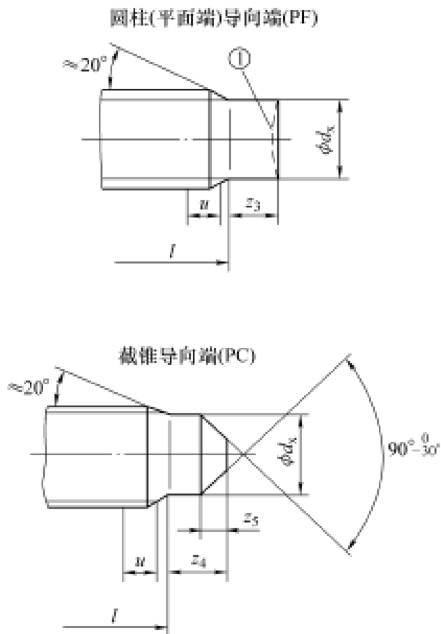


图 1-12　紧固件公称长度以外的末端型式

注：1. 不完整螺纹的长度 $u \leqslant 2P$；P 为螺距。

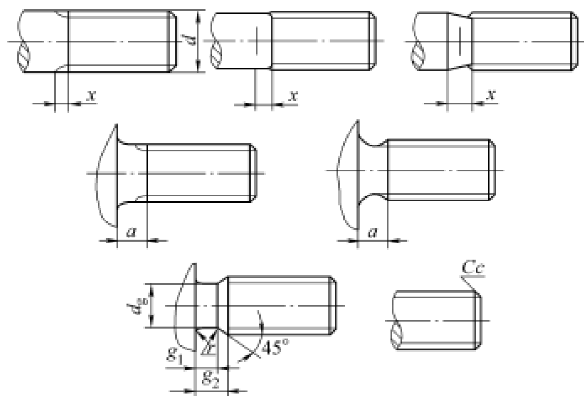
2. 20°仅指螺纹小径以下的末端部分。

图中①处的端面可以是凹面。

2. 普通螺纹的收尾、肩距、退刀槽及倒角尺寸（表 1-50）

表 1-50　普通螺纹的收尾、肩距、退刀槽及倒角尺寸（GB/T 3—1997）

（单位：mm）



（续）

螺距 P	粗牙螺纹外径 d	螺纹收尾 x max		肩距 a max			退刀槽				倒角 c
		一般	短的	一般	长的	短的	g_2 max	g_1 min	r ≈	d_g	
0.2	—	0.5	0.25	0.6	0.8	0.4	—	—	—	—	0.2
0.25	1，1.2	0.6	0.3	0.75	1	0.5	0.75	0.4	0.12	$d-0.4$	
0.3	1.4	0.75	0.4	0.9	1.2	0.6	0.9	0.6	0.16	$d-0.5$	0.3
0.35	1.6，1.8	0.9	0.45	1.05	1.4	0.7	1.05	0.6		$d-0.6$	
0.4	2	1	0.5	1.2	1.6	0.8	1.2		0.2	$d-0.7$	0.4
0.45	2.2，2.5	1.1	0.6	1.35	1.8	0.9	1.35	0.7		$d-0.7$	
0.5	3	1.25	0.7	1.5	2	1	1.5	0.8		$d-0.8$	0.5
0.6	3.5	1.5	0.75	1.8	2.4	1.2	1.8	0.9	0.4	$d-1$	
0.7	4	1.75	0.9	2.1	2.8	1.4	2.1	1.1		$d-1.1$	0.6

（续）

螺距 P	粗牙螺纹外径 d	螺纹收尾 x max		肩距 a max			退刀槽				倒角 c
		一般	短的	一般	长的	短的	g_2 max	g_1 min	r ≈	d_g	
0.75	4.5	1.9	1	2.25	3	1.5	2.25	1.2	0.4	$d-1.2$	0.6
0.8	5	2	1	2.4	3.2	1.6	2.4	1.3		$d-1.3$	0.8
1	6，7	2.5	1.25	3	4	2	3	1.6	0.6	$d-1.6$	1
1.25	8	3.2	1.6	4	5	2.5	3.75	2		$d-2$	1.2
1.5	10	3.8	1.9	4.5	6	3	4.5	2.5	0.8	$d-2.3$	1.5
1.75	12	4.3	2.2	5.3	7	3.5	5.25	3	1	$d-2.6$	2
2	14，16	5	2.5	6	8	4	6	3.4		$d-3$	
2.5	18，20，22	6.3	3.2	7.5	10	5	7.5	4.4	1.2	$d-3.6$	2.5
3	24，27	7.5	3.8	9	12	6	9	5.2	1.6	$d-4.4$	

（续）

螺距 P	粗牙螺纹外径 d	螺纹收尾 x max		肩距 a max			退刀槽				倒角 c
		一般	短的	一般	长的	短的	g_2 max	g_1 min	r ≈	d_g	
3.5	30，33	9	4.5	10.5	14	7	10.5	6.2	1.6	$d-5$	3
4	36，39	10	5	12	16	8	12	7	2	$d-5.7$	
4.5	42，45	11	5.5	13.5	18	9	13.5	8	2.5	$d-6.4$	4
5	48，52	12.5	6.3	15	20	10	15	9		$d-7$	
5.5	56，60	11	7	16.5	22	11	17.5	11	3.2	$d-7.7$	5
6	64，68	15	7.5	18	24	12	18			$d-8.3$	

注：1. 外螺纹倒角和退刀槽过渡角一般为45°，也可为60°或30°。当螺纹倒角为60°或30°时，倒角深度应大于或等于牙型高度。

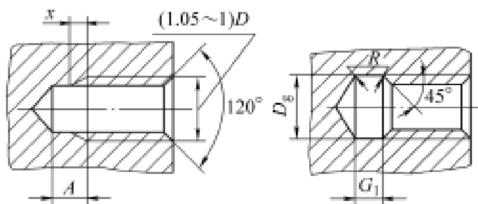
2. 肩距 a 是螺纹收尾 x 加螺纹空白的总长。设计时应优先考虑一般肩距尺寸。短的肩距只在结构需要时采用。产品等级为B或C级的螺纹紧固件可采用长肩距。

3. 细牙普通螺纹按本表螺距 P 选用。

3. 普通内螺纹的收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸（表1-51）

表1-51　普通内螺纹的收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸（GB/T 3—1997）

（单位：mm）



螺距 P	粗牙普通螺纹大径 D	螺纹收尾 x max		肩距 A		退刀槽			
						G_1		R ≈	D_g
		一般	短的	一般	长的	一般	短的		
0.2	—	0.8	0.4	1.2	1.6				d + 0.3
0.25	1，1.2	1	0.5	1.5	2				
0.3	1.4	1.2	0.6	1.8	2.4				
0.35	1.6，1.8	1.4	0.7	2.2	2.8				
0.4	2	1.6	0.8	2.5	3.2				
0.45	2.2，2.5	1.8	0.9	2.8	3.6				
0.5	3	2	1	3	4	2	1	0.2	
0.6	3.5	2.4	1.2	3.2	4.8	2.4	1.2	0.3	

（续）

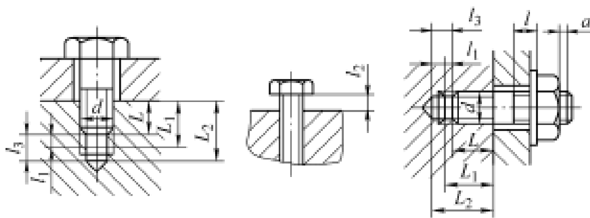
螺距 P	粗牙普通螺纹大径 D	螺纹收尾 x max		肩距 A		退刀槽			
						G_1		R ≈	D_g
		一般	短的	一般	长的	一般	短的		
0. 7	4	2. 8	1. 4	3. 5	5. 6	2. 8	1. 4	0. 4	d + 0. 3
0. 75	4. 5	3	1. 5	3. 8	6	3	1. 5	0. 4	
0. 8	5	3. 2	1. 6	4	6. 4	3. 2	1. 6	0. 4	
1	6，7	4	2	5	8	4	2	0. 5	d + 0. 5
1. 25	8	5	2. 5	6	10	5	2. 5	0. 6	
1. 5	10	6	3	7	12	6	3	0. 8	
1. 75	12	7	3. 5	9	14	7	3. 5	0. 9	
2	14，16	8	4	10	16	8	4	1	
2. 5	18，20，22	10	5	12	18	10	5	1. 2	
3	24，27	12	6	14	22	12	6	1. 5	
3. 5	30，33	14	7	16	24	14	7	1. 8	
4	36，39	16	8	18	26	16	8	2	
4. 5	42，45	18	9	21	29	18	9	2. 2	
5	48，52	20	10	23	32	20	10	2. 5	
5. 5	56，60	22	11	25	35	22	11	2. 8	
6	64，68	24	12	28	38	24	12	3	

注：1. 内螺纹倒角一般是 120°倒角，也可以是 90°倒角。端面倒角直径为（1. 05 ~ 1）D。
2. 肩距 A 是螺纹收尾 x 加螺纹空白的总长。
3. 应优先采用一般长度的收尾和肩距；短的退刀槽只在结构需要时采用；产品等级为 B 或 C 级的螺纹紧固件可采用长肩距。
4. 细牙普通螺纹按本表螺距 P 选用。

4. 普通螺纹的内、外螺纹余留长度、钻孔余留深度，螺栓突出螺母的末端长度（表 1-52）

表 1-52　普通螺纹的内、外螺纹余留长度，钻孔余留深度，螺栓突出螺母的末端长度

（单位：mm）



<table>
<tr><th rowspan="2">螺距</th><th colspan="2">螺纹直径</th><th colspan="3">余留长度</th><th rowspan="2">末端长度</th></tr>
<tr><th>粗牙</th><th>细牙</th><th>内螺纹</th><th>外螺纹</th><th>钻孔</th></tr>
<tr><td>P</td><td colspan="2">d</td><td>l_1</td><td>$l = l_2$</td><td>l_3</td><td>a</td></tr>
<tr><td rowspan="2">0. 5</td><td>3</td><td></td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">0. 5 ~1. 5</td></tr>
<tr><td></td><td>5</td></tr>
<tr><td>0. 7</td><td>4</td><td></td><td rowspan="3">1. 5</td><td rowspan="3">2. 5</td><td>4</td><td rowspan="3">1 ~2</td></tr>
<tr><td>0. 75</td><td></td><td>6</td><td rowspan="2">5</td></tr>
<tr><td>0. 8</td><td>5</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td>6</td><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">3. 5</td><td rowspan="3">6</td><td rowspan="3">1. 5 ~2. 5</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>8</td></tr>
<tr><td>10</td></tr>
</table>

（续）

螺距	螺纹直径		余留长度			末端长度
	粗牙	细牙	内螺纹	外螺纹	钻孔	
P	d		l_1	$l = l_2$	l_3	a
1		14	2	3.5	6	
		16				
		18				
1.25	8	12	2.5	4	8	1.5～2.5
1.5	10		3	4.5	9	2～3
		14				
		16				
		18				
		20				
		22				
		24				
		27				
		30				
		33				
1.75	12		3.5	5.5	11	

（续）

<table>
<tr><th rowspan="2">螺距</th><th colspan="2">螺纹直径</th><th colspan="3">余留长度</th><th rowspan="2">末端长度</th></tr>
<tr><th>粗牙</th><th>细牙</th><th>内螺纹</th><th>外螺纹</th><th>钻孔</th></tr>
<tr><td>P</td><td colspan="2">d</td><td>l_1</td><td>$l = l_2$</td><td>l_3</td><td>a</td></tr>
<tr><td rowspan="12">2</td><td>14</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="12">4</td><td rowspan="12">6</td><td rowspan="12">12</td><td rowspan="15">2. 5 ~4</td></tr>
<tr><td>16</td></tr>
<tr><td rowspan="10"></td><td>24</td></tr>
<tr><td>27</td></tr>
<tr><td>30</td></tr>
<tr><td>33</td></tr>
<tr><td>36</td></tr>
<tr><td>39</td></tr>
<tr><td>45</td></tr>
<tr><td>48</td></tr>
<tr><td>52</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2. 5</td><td>18</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">7</td><td rowspan="3">15</td></tr>
<tr><td>20</td></tr>
<tr><td>22</td></tr>
<tr><td>3</td><td>24</td><td>6</td><td>8</td><td>18</td><td>3 ~5</td></tr>
</table>

（续）

螺距	螺纹直径		余留长度			末端长度
	粗牙	细牙	内螺纹	外螺纹	钻孔	
P	d		l_1	$l = l_2$	l_3	a
3		36	6	8	18	3 ~ 5
		39				
		42				
		45				
		48				
		56				
		60				
		64				
		72				
		76				
3.5	30		7	9	21	
4	36		8	10	24	4 ~ 7
		56				
		60				
		64				
		68				

（续）

螺距	螺纹直径		余留长度			末端长度
	粗牙	细牙	内螺纹	外螺纹	钻孔	
P	d		l_1	$l=l_2$	l_3	a
4		72	8	10	24	4～7
		76				
4.5	42		9	11	27	
5	48		10	13	30	6～10
5.5	56		11	16	33	
6	64		12	18	36	
	72					
	76					

注：1. 拧入深度 L 由设计者决定。

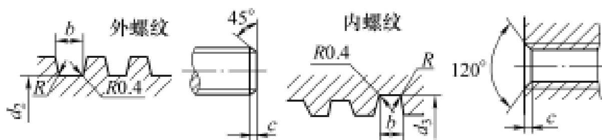
2. 钻孔深度 $L_2=L+l_3$。

3. 螺孔深度 $L_1=L+l_1$（不包括螺尾）。

5. 梯形螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸（表 1-53）

表 1-53　梯形螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸

（单位：mm）



（续）

螺距（或导程）P	b	d_2	d_3	R	c
2	2.5	$d-3$	$d+1$	1	1.5
3	4	$d-4$			2
4	5	$d-5.1$	$d+1.1$	1.5	2.5
5	6.5	$d-6.6$	$d+1.6$		3
6	7.5	$d-7.8$	$d+1.8$	2	3.5
8	10	$d-9.8$		2.5	4.5
10	12.5	$d-12$	$d+2$	3	5.5
12	15	$d-14$			6
16	20	$d-19.2$	$d+3.2$	4	9
20	24	$d-23.5$	$d+3.5$	5	11
24	30	$d-27.5$			13
32	40	$d-36$	$d+4$	6	17
40	50	$d-44$			21

注：表中 d 为螺纹公称直径。

6. 米制锥螺纹的结构要素（表 1-54、表 1-55）

表 1-54　米制锥螺纹的螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸（单位：mm）

螺纹代号	螺距 P	外螺纹			内螺纹			
		螺纹收尾 L	肩距 a	倒角 c	螺纹收尾 L_1	退刀槽		
						b_1	r_1	d_4
Mc6	1	2	3	1	3	3	0. 5	6. 5
Mc8								8. 5
Mc10								10. 5
Mc14	1. 5	3	4. 5		4. 5	4. 5	1	14. 5
Mc18								18. 5
Mc22								22. 5
Mc27	2	4	6	1. 5	6	6	1	27. 5
Mc33								33. 5

（续）

螺纹代号	螺距 P	外螺纹			内螺纹			
		螺纹收尾 L	肩距 a	倒角 c	螺纹收尾 L_1	退刀槽 b_1	退刀槽 r_1	退刀槽 d_4
Mc42	2	4	6	1.5	6	6	1	42.5
Mc48								48.5
Mc60								60.5
Mc76								77.5
Mc90	3	6	8		9	9	1.5	91.5

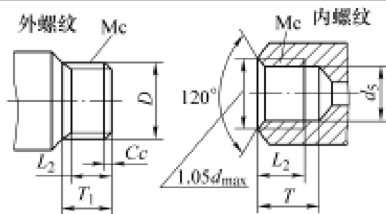
注：1. 外螺纹倒角和螺纹退刀槽过渡角一般为45°，也可为60°或30°。当倒角为60°或30°时，倒角深度约等于螺纹深度。

2. 内螺纹倒角一般是120°锥角，也可以是90°锥角。

3. d 为基面上螺纹大径（对内螺纹即螺孔端面的螺纹大径）。

表 1-55　米制锥螺纹接头尾端尺寸

（单位：mm）



（续）

螺纹代号	d	L_2	T_1	T	d_5		c
					Ⅰ	Ⅱ	
Mc6	6.18	7.5	10.5	12	4	4.5	1
Mc8	8.18				6	6.5	
Mc10	10.18				8	8.5	
Mc14	14.28	11.5	16	18	11	11.8	1.5
Mc18	18.28				15	15.7	
Mc22	22.28				19	19.7	
Mc27	27.37	15	21	23	23	24	
Mc33	33.37				29	30	
Mc42	42.37	16	22	24	38	39	
Mc48	48.37				44	45	
Mc60	60.37	18	24	26	56	57	

注：d 为基面上的螺纹大径；Ⅰ列中的数据铰锥孔前的底孔直径，用于高压接头；Ⅱ列中的数据钻孔后攻螺纹用的底孔直径。

7. 圆柱管螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸（表 1-56）

表 1-56　圆柱管螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸（单位：mm）

外　螺　纹		内　螺　纹		倒角
收　　尾	退刀槽	收　　尾	退刀槽	
L L α	$b=2$ d_2 b R $b>3$ d_2 b R r $45°$	L_1 L_1	$b_1=2$ b_1 d_3 R $b_1 \geqslant 3$ r_1 R d_3 $45°$ b_1	c d $45°$ $1.05d_{max}$ $120°$

（续）

螺纹代号	每英寸牙数 n	外螺纹 $L\leqslant$（$\alpha=25°$时）	外螺纹 b	外螺纹 d_2	外螺纹 R	外螺纹 r	内螺纹 $L_1\leqslant$	内螺纹 b_1	内螺纹 d_3	内螺纹 R_1	内螺纹 r_1	c
G1/8	28	1. 5	2	8	0. 5	—	2	2	10	0. 5	—	0. 6
G1/4	19	2	3	11	1	0. 5	3	3	13. 5	1	0. 5	1
G3/8				14					17			
G1/2	14	2. 5	4	18			4	4	21. 5			1. 5
G5/8				20					23. 5			
G3/4				23. 5					27			
G1	11	3. 5	5	29. 5	1. 5		5	6	34	1. 5	1	
G1¼				38					42. 5			
G1½				44					48. 5			
G1¾				50					54. 5			
G2				56					60. 5			
G2¼				62			6	8	66. 5	2		
G2½				71					76			
G2¾				78					82. 5			

（续）

螺纹代号	每英寸牙数 n	外螺纹					内螺纹					c
		$L\leqslant$（$\alpha=25°$时）	b	d_2	R	r	$L_1\leqslant$	b_1	d_3	R_1	r_1	
G3				84					88.5			
G3½				96					101			
G4	11	3.5	5	109	1.5	0.5	8	10	114	3	1	1.5
G5				134.5					139.5			
G6				160					165			

注：1. 外螺纹的螺尾角 $\alpha=25°$ 的螺尾数值系列为基本的。内螺纹的螺尾角不予规定，以螺尾长度 L_1 与螺纹牙型高度来确定。

2. 对辗制和铣制的螺尾角不予规定，而螺尾长度 L 不超过表中对 $\alpha=25°$ 时所规定的数值。

3. 螺纹倒角的宽度是指在车制螺纹前的数值。

4. 在必要的情况下，b（或 b_1）两种形式的退刀槽宽度可以采用规定的其他退刀槽宽度，但不得小于 1.2 倍螺距和不大于 3 倍螺距。

5. 在结构有特殊要求时，允许不按规定的退刀槽直径 d_2 与 d_3。

第 2 章　产品几何技术规范

2.1　极限与配合及计算

2.1.1　极限与配合基本规定（GB/T 1800.1、2—2009）

1. 术语和定义

（1）轴　通常指工件的圆柱形外尺寸要素，也包括非圆柱形外尺寸要素（由两平行平面或切面形成的被包容面）。

基准轴：在基轴制配合中选作基准的轴，即上极限偏差为零的轴。

（2）孔　通常指工件的圆柱形内尺寸要素，也包括非圆柱形内尺寸要素（由两平行平面或切面形成的包容面）。

基准孔：在基孔制配合中选作基准的孔，即下极限偏差为零的孔。

（3）尺寸　以特定单位表示线性尺寸值的数值。

1）公称尺寸。由图样规范确定的理想形状要素的尺寸（公称尺寸可以是一个整数或一个小数值，例如 32、15、8.75、0.5）。通过它应用上、下极限偏差可以计算出极限尺寸（图 2-1）。

2）极限尺寸。尺寸要素允许的尺寸的两个极端。

3）上极限尺寸。尺寸要素允许的最大尺寸（图 2-1）。

4）下极限尺寸。尺寸要素允许的最小尺寸（图 2-1）。

（4）极限制　经标准化的公差与偏差制度。

（5）零线　在极限与配合图解中，表示公称尺寸的一条直线，以其为基准确定偏差和公差，如图 2-1 所示。通常零线沿水平方向绘制，正偏差位于其上，负偏差位于其下，如图 2-2 所示。

（6）偏差　某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差。

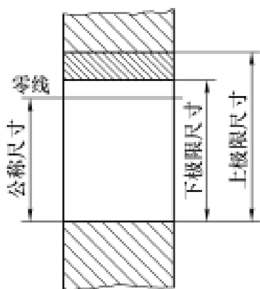


图 2-1　公称尺寸、上极限尺寸和下极限尺寸

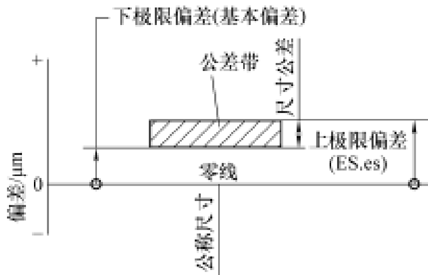


图 2-2　公差带图解

1）极限偏差。包括上极限偏差和下极限偏差。轴的上、下极限偏差代号分别用小写字母 es、ei 表示；孔的上、下极限偏差代号分别用大写字母 ES、EI 表示。

2）上极限偏差。上极限尺寸减其公称尺寸所得的代

数差。

3）下极限偏差。下极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差。

4）基本偏差。确定公差带相对零线位置的那个极限偏差。它可以是上极限偏差或下极限偏差，一般为靠近零线的那个偏差为基本偏差。

（7）尺寸公差（简称公差）上极限尺寸减下极限尺寸之差，或上极限偏差减下极限偏差之差。它是允许尺寸的变动量。尺寸公差是一个没有符号的绝对值。

1）标准公差（IT）。在极限与配合制中所规定的任一公差。

2）标准公差等级。极限与配合制中同一公差等级（例如 IT7）对所有公称尺寸的一组公差被认为具有同等精确程度。

3）公差带。在公差带图解中，由代表上极限偏差和下极限偏差或上极限尺寸和下极限尺寸的两条直线所限定的一个区域。它是由公差大小和其相对零线的位置（如基本偏差）确定的，如图 2-2 所示。

4）标准公差因子（i，I）。用以确定标准公差的基本单位，该因子是公称尺寸的函数（标准公差因子 i 用于公称尺寸至 500mm，标准公差因子 I 用于公称尺寸大于 500mm）。

（8）间隙　孔的尺寸减去相配合轴的尺寸之差，为正值，如图 2-3 所示。

1）最小间隙。在间隙配合中，孔的下极限尺寸与轴的上极限尺寸之差，如图 2-4 所示。

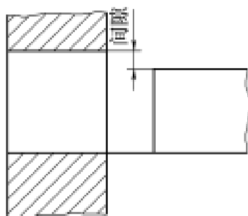


图 2-3　间隙

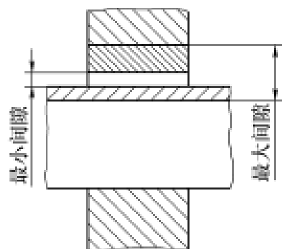


图 2-4　间隙配合

2）最大间隙。在间隙配合或过渡配合中，孔的上极限尺寸与轴的下极限尺寸之差，如图 2-4 和图 2-5 所示。

（9）过盈　孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为负值，如图 2-6 所示。

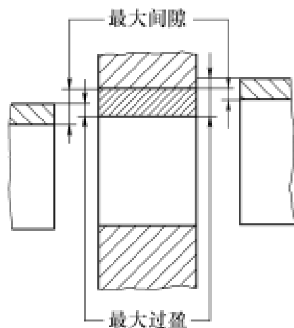


图 2-5　过渡配合

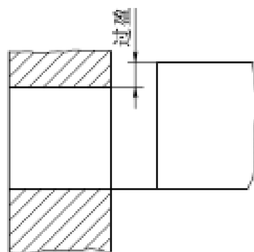


图 2-6　过盈

1）最小过盈。在过盈配合中，孔的上极限尺寸与轴

的下极限尺寸之差，如图 2-7 所示。

2）最大过盈。在过盈配合或过渡配合中，孔的下极限尺寸与轴的上极限尺寸之差，如图 2-7 所示。

（10）配合　配合是指公称尺寸相同的，并且相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

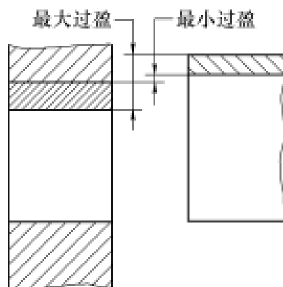


图 2-7　过盈配合

1）间隙配合。具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之上，如图 2-8 所示。

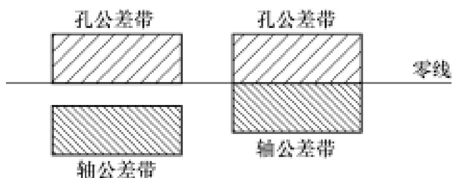


图 2-8　间隙配合的示意图

2）过盈配合。具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之下，如图 2-9 所示。

3）过渡配合。可能具有间隙或过盈的配合。此时，孔的公差带与轴的公差带相互交叠，如图 2-10 所示。

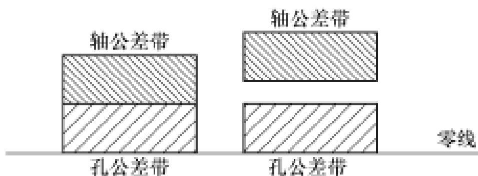


图 2-9　过盈配合的示意图

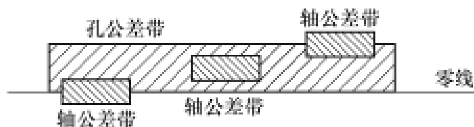


图 2-10　过渡配合的示意图

4）配合公差。组成配合的孔与轴公差之和，它是允许间隙或过盈的变动量（配合公差是一个没有符号的绝对值）。

（11）配合制　同一极限制的孔和轴组成的一种配合制度。

1）基轴制配合。基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度。是轴的上极限尺寸与公称尺寸相等、轴的上极限偏差为零的一种配合制，如图 2-11 所示。

2）基孔制配合。基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。是孔的下极限尺寸与公称尺寸相等、孔的下极限偏差为零的一种配合制，如图 2-12 所示。

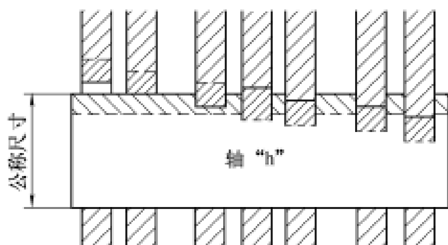


图 2-11　基轴制配合

注：1. 水平实线代表孔或轴的基本偏差。
2. 虚线代表另一极限，表示孔和轴之间可能的不同组合与它们的公差等级有关。

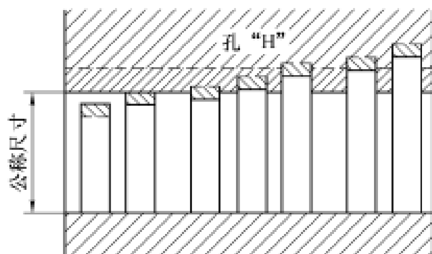


图 2-12　基孔制配合

注：1. 水平实线代表孔或轴的基本偏差。
2. 虚线代表另一极限，表示孔和轴之间可能的不同组合与它们的公差等级有关。

2. 基本规定

（1）公称尺寸分段（表2-1）

表2-1　公称尺寸分段　　（单位：mm）

主段落		中间段落		主段落		中间段落	
大于	至	大于	至	大于	至	大于	至
—	3			315	400	315	355
3	6					355	400
6	10			400	500	400	450
10	18	10	14			450	500
		14	18	500	630	500	560
18	30	18	24			560	630
		24	30	630	800	630	710
30	50	30	40			710	800
		40	50	800	1000	800	900
50	80	50	65			900	1000
		65	80	1000	1250	1000	1120
80	120	80	100			1120	1250
		100	120	1250	1600	1250	1400
120	180	120	140			1400	1600
		140	160	1600	2000	1600	1800
		160	180			1800	2000
180	250	180	200	2000	2500	2000	2240
		200	225			2240	2500
		225	250	2500	3150	2500	2800
250	315	250	280			2800	3150
		280	315				

（2）标准公差的等级、代号及数值　极限与配合在公称尺寸至500mm内规定了20个标准公差等级，即：IT01、IT0、IT1～IT18。公称尺寸大于500～3150mm内规定了IT1～IT18共18个标准公差等级。IT表示标准公差，公差的等级代号用阿拉伯数字表示。从IT01至IT18等级依次降低，当其与代表基本偏差的字母一起组成公差带时，省略“IT”字母，如：h7。各级标准公差的数值见表2-2。

表2-2　各级标准公差的数值

公称尺寸/mm		公差等级									
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
大于	至	μm									
—	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14
3	6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18
6	10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97
500	630			9	11	16	22	32	44	70	110

（续）

公称尺寸/mm		公差等级									
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
大于	至	μm									
630	800			10	13	18	25	36	50	80	125
800	1000			11	15	21	28	40	56	90	140
1000	1250			13	18	24	33	47	66	105	165
1250	1600			15	21	29	39	55	78	125	195
1600	2000			18	25	35	46	65	92	150	230
2000	2500			22	30	41	55	78	110	175	280
2500	3150			26	36	50	68	96	135	210	330

公称尺寸/mm		公差等级									
		IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm			mm						
—	3	25	40	60	0. 10	0. 14	0. 25	0. 40	0. 60	1. 0	1. 4
3	6	30	48	75	0. 12	0. 18	0. 30	0. 48	0. 75	1. 2	1. 8
6	10	36	58	90	0. 15	0. 22	0. 36	0. 58	0. 90	1. 5	2. 2
10	18	43	70	110	0. 18	0. 27	0. 43	0. 70	1. 10	1. 8	2. 7
18	30	52	84	130	0. 21	0. 33	0. 52	0. 84	1. 30	2. 1	3. 3
30	50	62	100	160	0. 25	0. 39	0. 62	1. 00	1. 60	2. 5	3. 9
50	80	74	120	190	0. 30	0. 46	0. 74	1. 20	1. 90	3. 0	4. 6
80	120	87	140	220	0. 35	0. 54	0. 87	1. 40	2. 20	3. 5	5. 4
120	180	100	160	250	0. 40	0. 63	1. 00	1. 60	2. 50	4. 0	6. 3
180	250	115	185	290	0. 46	0. 72	1. 15	1. 85	2. 90	4. 6	7. 2
250	315	130	210	320	0. 52	0. 81	1. 30	2. 10	3. 20	5. 2	8. 1
315	400	140	230	360	0. 57	0. 89	1. 40	2. 30	3. 60	5. 7	8. 9
400	500	155	250	400	0. 63	0. 97	1. 55	2. 50	4. 00	6. 3	9. 7
500	630	175	280	440	0. 70	1. 10	1. 75	2. 8	4. 4	7. 0	11. 0

（续）

公称尺寸/mm		公差等级									
		IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm			mm						
630	800	200	320	500	0.80	1.25	2.00	3.2	5.0	8.0	12.5
800	1000	230	360	560	0.90	1.40	2.30	3.6	5.6	9.0	14.0
1000	1250	260	420	660	1.05	1.65	2.60	4.2	6.6	10.5	16.5
1250	1600	310	500	780	1.25	1.95	3.10	5.0	7.8	12.5	19.5
1600	2000	370	600	920	1.50	2.30	3.70	6.0	9.2	15.0	23.0
2000	2500	440	700	1100	1.75	2.80	4.40	7.0	11.0	17.5	28.0
2500	3150	540	860	1350	2.10	3.30	5.40	8.6	13.5	21.0	33.0

注：1. 公称尺寸小于或等于 1mm 时，无 IT14 ~ IT18。
2. 公称尺寸大于 500mm 的 IT1 ~ IT15 的标准公差数值为试行。

（3）基本偏差的代号　基本偏差的代号用拉丁字母表示，大写的为孔，小写的为轴，各 28 个。

孔：A，B，C，CD，D，E，EF，F，FG，G，H，J，JS，K，M，N，P，R，S，T，U，V，X，Y，Z，ZA，ZB，ZC。

轴：a，b，c，cd，d，e，ef，f，fg，g，h，j，js，k，m，n，p，r，s，t，u，v，x，y，z，za，zb，zc。

其中，H 代表基准孔，h 代表基准轴（图 2-13）。

（4）偏差代号　偏差代号规定如下：孔的上极限偏差为 ES，孔的下极限偏差为 EI；轴的上极限偏差为 es，轴的下极限偏差为 ei。

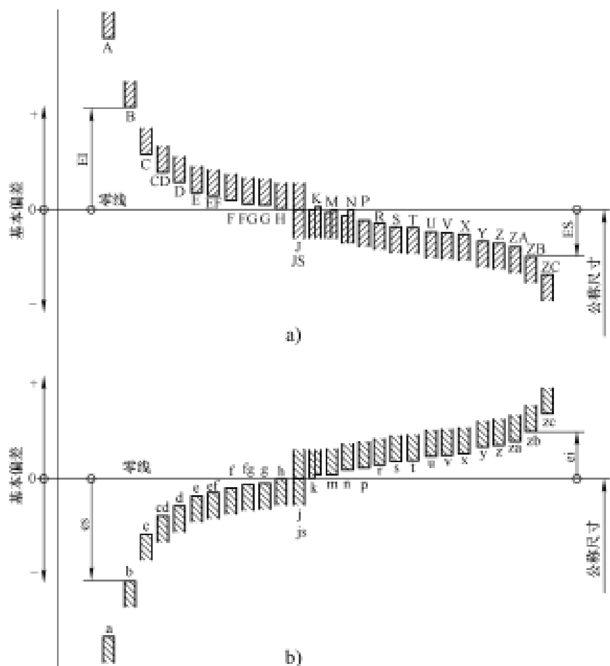


图 2-13　基本偏差系列示意图

a）孔　b）轴

（5）轴的极限偏差　轴的基本偏差从 a 到 h 为上极限偏差，从 j 到 zc 为下极限偏差。轴的基本偏差数值见表 2-3。

轴的另一个偏差（下极限偏差或上极限偏差），根据轴的基本偏差和标准公差，按以下代数式计算：

$$ei = es - IT \text{ 或 } es = ei + IT$$

（6）孔的基本偏差　孔的基本偏差从 A 到 H 为下极限偏差，从 J 至 ZC 为上极限偏差。

孔的基本偏差数值见表 2-4。

孔的另一个极限偏差（上极限偏差或下极限偏差），根据孔的基本偏差和标准公差，按以下代数式计算：

$$EI = ES - IT \text{ 或 } ES = EI + IT$$

（7）公差带代号　孔、轴公差带代号用基本偏差代号与公差等级代号组成。例如：H8、F8、K7、P7 等为孔的公差带代号；h7、f7、k6、p6 等为轴的公差带代号。其表示方法可以用下列示例之一：

1）孔：$\phi 50H8$，$\phi 50^{+0.039}_{0}$，$\phi 50H8(^{+0.039}_{0})$。

2）轴：$\phi 50f7$，$\phi 50^{-0.025}_{-0.050}$，$\phi 50f7(^{-0.025}_{-0.050})$。

（8）基准制　基准制分为基孔制和基轴制。在一般情况下，优先采用基孔制。如有特殊需要，允许将任一孔、轴公差带组成配合。

表 2-3　轴的基本偏差数值　　（单位：μm）

基本偏差		上极限偏差（es）											js
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	
公称尺寸/mm		公差等级											
大于	至	所有等级											
—	3	−270	−140	−60	−34	−20	−14	−10	−6	−4	−2	0	偏差 = $\pm\frac{IT_n}{2}$ 式中 IT_n 是 IT 数值
3	6	−270	−140	−70	−46	−30	−20	−14	−10	−6	−4	0	
6	10	−280	−150	−80	−56	−40	−25	−18	−13	−8	−5	0	
10	14	−290	−150	−95	—	−50	−32	—	−16	—	−6	0	
14	18												
18	24	−300	−160	−110	—	−65	−40	—	−20	—	−7	0	
24	30												
30	40	−310	−170	−120	—	−80	−50	—	−25	—	−9	0	
40	50	−320	−180	−130									
50	65	−340	−190	−140	—	−100	−60	—	−30	—	−10	0	
65	80	−360	−200	−150									
80	100	−380	−220	−170	—	−120	−72	—	−36	—	−12	0	
100	120	−410	−240	−180									

（续）

基本偏差		上极限偏差（es）											js
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	
公称尺寸/mm		公差等级											
大于	至	所有等级											
120	140	−460	−260	−200	—	−145	−85	—	−43	—	−14	0	偏差 = $\pm\frac{IT_n}{2}$ 式中 IT_n 是IT数值
140	160	−520	−280	−210									
160	180	−580	−310	−230									
180	200	−660	−340	−240	—	−170	−100	—	−50	—	−15	0	
200	225	−740	−380	−260									
225	250	−820	−420	−280									
250	280	−920	−480	−300	—	−190	−110	—	−56	—	−17	0	
280	315	−1050	−540	−330									
315	355	−1200	−600	−360	—	−210	−125	—	−62	—	−18	0	
355	400	−1350	−680	−400									
400	450	−1500	−760	−440	—	−230	−135	—	−68	—	−20	0	
450	500	−1650	−840	−480									

（续）

基本偏差		下极限偏差（ei）									
		j			k		m	n	p	r	s
公称尺寸/mm		公差等级									
大于	至	5、6	7	8	4 至 7	≤3 >7	所有等级				
—	3	−2	−4	−6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14
3	6	−2	−4	—	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19
6	10	−2	−5	—	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23
10	14	−3	−6	—	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28
14	18										
18	24	−4	−8	—	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35
24	30										
30	40	−5	−10	—	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43
40	50										
50	65	−7	−12	—	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53
65	80									+43	+59
80	100	−9	−15	—	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71
100	120									+54	+79

（续）

基本偏差		下极限偏差（ei）									
		j			k		m	n	p	r	s
公称尺寸/mm		公差等级									
大于	至	5、6	7	8	4 至 7	≤3 >7	所有等级				
120	140	-11	-18	—	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92
140	160									+65	+100
160	180									+68	+108
180	200	-13	-21	—	+4	0	+17	+31	+50	+77	+122
200	225									+80	+130
225	250									+84	+140
250	280	-16	-26	—	+4	0	+20	+34	+56	+94	+158
280	315									+98	+170
315	355	-18	-28	—	+4	0	+21	+37	+62	+108	+190
355	400									+114	+208
400	450	-20	-32	—	+5	0	+23	+40	+68	+126	+232
450	500									+132	+252

（续）

基本偏差		下极限偏差（ei）								
		t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
公称尺寸/mm		公差等级								
大于	至	所有等级								
—	3	—	+18	—	+20	—	+26	+32	+40	+60
3	6	—	+23	—	+28	—	+35	+42	+50	+80
6	10	—	+28	—	+34	—	+42	+52	+67	+97
10	14	—	+33	—	+40	—	+50	+64	+90	+130
14	18			+39	+45	—	+60	+77	+108	+150
18	24	—	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24	30	+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30	40	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50	+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50	65	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120	140	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800

（续）

基本偏差		下极限偏差（ei）								
		t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
公称尺寸/mm		公差等级								
大于	至	所有等级								
140	160	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180	200	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200	225	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225	250	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250	280	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280	315	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315	355	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355	400	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450	500	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

注：1. 公称尺寸小于 1mm 时，各级的 a 和 b 均不采用。

2. js 的数值：对 IT7 ~ IT11，若 IT 的数值（μm）为奇数，则取 $js = \pm \frac{IT_n - 1}{2}$。

表 2-4　孔的基本偏差数值　　　　（单位：μm）

基本偏差		下极限偏差（EI）											JS
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	
公称尺寸/mm		公差等级											
大于	至	所有等级											
—	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	偏差 = $\pm\frac{IT_n}{2}$ 式中 IT_n 是 IT 数值
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	
10	14	+290	+150	+95	—	+50	+32	—	+16	—	+6	0	
14	18												
18	24	+300	+160	+110	—	+65	+40	—	+20	—	+7	0	
24	30												
30	40	+310	+170	+120	—	+80	+50	—	+25	—	+9	0	
40	50	+320	+180	+130									
50	65	+340	+190	+140	—	+100	+60	—	+30	—	+10	0	
65	80	+360	+200	+150									
80	100	+380	+220	+170	—	+120	+72	—	+36	—	+12	0	
100	120	+410	+240	+180									

（续）

基本偏差		下极限偏差（EI）											JS
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	
公称尺寸/mm		公差等级											
大于	至	所有等级											
120	140	+460	+260	+200	—	+145	+85	—	+43	—	+14	0	偏差 = $\pm\frac{IT_n}{2}$ 式中 IT_n 是 IT 数值
140	160	+520	+280	+210									
160	180	+580	+310	+230									
180	200	+660	+340	+240	—	+170	+100	—	+50	—	+15	0	
200	225	+740	+380	+260									
225	250	+820	+420	+280									
250	280	+920	+480	+300	—	+190	+110	—	+56	—	+17	0	
280	315	+1050	+540	+330									
315	355	+1200	+600	+360	—	+210	+125	—	+62	—	+18	0	
355	400	+1350	+680	+400									
400	450	+1500	+760	+440	—	+230	+135	—	+68	—	+20	0	
450	500	+1650	+840	+480									

（续）

基本偏差		上极限偏差（ES）								
		J			K		M		N	
公称尺寸/mm		公差等级								
大于	至	6	7	8	≤8	>8	≤8	>8	≤8	>8
—	3	+2	+4	+6	0	0	−2	−2	−4	−4
3	6	+5	+6	+10	−1+Δ	—	−4+Δ	−4	−8+Δ	0
6	10	+5	+8	+12	−1+Δ	—	−6+Δ	−6	−10+Δ	0
10	14	+6	+10	+15	−1+Δ	—	−7+Δ	−7	−12+Δ	0
14	18									
18	24	+8	+12	+20	−2+Δ	—	−8+Δ	−8	−15+Δ	0
24	30									
30	40	+10	+14	+24	−2+Δ	—	−9+Δ	−9	−17+Δ	0
40	50									
50	65	+13	+18	+28	−2+Δ	—	−11+Δ	−11	−20+Δ	0
65	80									
80	100	+16	+2	+34	−3+Δ	—	−13+Δ	−13	−23+Δ	0
100	120									

（续）

基本偏差		上极限偏差（ES）								
		J			K		M		N	
公称尺寸/mm		公差等级								
大于	至	6	7	8	≤8	>8	≤8	>8	≤8	>8
120	140	+18	+26	+41	$-3+\Delta$	—	$-15+\Delta$	−15	$-27+\Delta$	0
140	160									
160	180									
180	200	+22	+30	+47	$-4+\Delta$	—	$-17+\Delta$	−17	$-31+\Delta$	0
200	225									
225	250									
250	280	+25	+36	+55	$-4+\Delta$	—	$-20+\Delta$	−20	$-34+\Delta$	0
280	315									
315	355	+29	+39	+60	$-4+\Delta$	—	$-21+\Delta$	−21	$-37+\Delta$	0
355	400									
400	450	+33	+43	+66	$-5+\Delta$	—	$-23+\Delta$	−23	$-40+\Delta$	0
450	500									

（续）

基本偏差		上极限偏差（ES）								
		P 至 ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y
公称尺寸/mm		公差等级								
大于	至	≤7	>7							
—	3	在 <7 级的相应数值上增加一个 Δ 值	−6	−10	−14	—	−18	—	−20	—
3	6		−12	−15	−19	—	−23	—	−28	—
6	10		−15	−19	−23	—	−28	—	−34	—
10	14		−18	−23	−28	—	−33	—	−40	—
14	18							−39	−45	—
18	24		−22	−28	−35	—	−41	−47	−54	−63
24	30					−41	−48	−55	−64	−75
30	40		−26	−34	−43	−48	−60	−68	−80	−94
40	50					−54	−70	−81	−97	−114
50	65		−32	−41	−53	−66	−87	−102	−122	−144
65	80			−43	−59	−75	−102	−120	−146	−174
80	100		−37	−51	−71	−91	−124	−146	−178	−214
100	120			−54	−79	−104	−144	−172	−210	−254

（续）

基本偏差		上极限偏差（ES）								
		P 至 ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y
公称尺寸/mm		公差等级								
大于	至	≤7	>7							
120	140	在 <7 级的相应数值上增加一个 Δ 值	−43	−63	−92	−122	−170	−202	−248	−300
140	160			−65	−100	−134	−190	−228	−280	−340
160	180			−68	−108	−146	−210	−252	−310	−380
180	200		−50	−77	−122	−166	−236	−284	−350	−425
200	225			−80	−130	−180	−258	−310	−385	−470
225	250			−84	−140	−196	−284	−340	−425	−520
250	280		−56	−94	−158	−218	−315	−385	−475	−580
280	315			−98	−170	−240	−350	−425	−525	−650
315	355		−62	−108	−190	−268	−390	−475	−590	−730
355	400			−114	−208	−294	−435	−530	−660	−820
400	450		−68	−126	−232	−330	−490	−595	−740	−920
450	500			−132	−252	−360	−540	−660	−820	−1000

（续）

基本偏差		上极限偏差（ES）				Δ					
		Z	ZA	ZB	ZC						
公称尺寸/mm		公差等级									
大于	至	>7				3	4	5	6	7	8
—	3	-26	-32	-40	-60	0					
3	6	-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6
6	10	-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7
10	14	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9
14	18	-60	-77	-108	-150						
18	24	-73	-98	-136	-188	1.5	2	3	4	8	12
24	30	-88	-118	-160	-218						
30	40	-112	-148	-200	-274	1.5	3	4	5	9	14
40	50	-136	-180	-242	-325						
50	65	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16
65	80	-210	-274	-360	-480						

（续）

基本偏差		上极限偏差（ES）				Δ					
		Z	ZA	ZB	ZC						
公称尺寸/mm		公差等级									
大于	至	>7				3	4	5	6	7	8
80	100	−258	−335	−445	−585	2	4	5	7	13	19
100	120	−310	−400	−525	−690						
120	140	−365	−470	−620	−800	3	4	6	7	15	23
140	160	−415	−535	−700	−900						
160	180	−465	−600	−780	−1000						
180	200	−520	−670	−880	−1150	3	4	6	9	17	26
200	225	−575	−740	−960	−1250						
225	250	−640	−820	−1050	−1350						
250	280	−710	−920	−1200	−1550	4	4	7	9	20	29
280	315	−790	−1000	−1300	−1700						

（续）

基本偏差		上极限偏差（ES）				Δ					
		Z	ZA	ZB	ZC						
公称尺寸/mm		公差等级									
大于	至	>7				3	4	5	6	7	8
315	355	−900	−1150	−1500	−1900	4	5	7	11	21	32
355	400	−1000	−1300	−1650	−2100						
400	450	−1100	−1450	−1850	−2400	5	5	7	13	23	34
450	500	−1250	−1600	−2100	−2600						

注：1. 公称尺寸小于 1mm 时，各级的 A 和 B 及大于 8 级的 N 均不采用。

2. JS 的数值：对 IT7 ~ IT11，若 IT 的数值（μm）为奇数，则取 JS = $\pm\frac{IT_n - 1}{2}$。

3. 特殊情况，当公称尺寸大于 250 ~ 315mm 时，M6 的 ES 等于 −9μm（不等于 −11μm）。

4. 对小于或等于 IT8 的 K、M、N 和小于或等于 IT7 的 P 至 ZC，所需 Δ 值从表内右侧栏选取。例如：大于 6 ~ 10mm 的 P6，Δ = 3μm，所以 ES = −15μm + 3μm = −12μm。

（9）配合代号　用孔、轴公差带的组合表示，写成分数形式，分子为孔的公差带，分母为轴的公差带。例如：H8/f7 或$\frac{H8}{f7}$。其表示方法可用以下示例之一：

ϕ50H8/f7 或 $\phi 50\ \frac{H8}{f7}$；10H7/n6 或 $10\ \frac{H7}{n6}$。

（10）配合分类　标准的配合有三类，即间隙配合、过渡配合和过盈配合。属于哪一类配合取决于孔、轴公差带的相互关系。

基孔制（基轴制）中，a 到 h（A 到 H）用于间隙配合；j 到 zc（J 到 ZC）用于过渡配合和过盈配合。

（11）公差带及配合的选用原则　孔、轴公差带及配合，首先采用优先公差带及优先配合，其次采用常用公差带及常用配合，再次采用一般用途公差带。

必要时，可按标准所规定的标准公差与基本偏差组成孔、轴公差带及配合。

3. 孔、轴的极限偏差与配合（GB/T 1801—2009）

（1）孔的常用和优先公差带（尺寸≤500mm）（图 2-14）

（2）轴的常用和优先公差带（尺寸≤500mm）（图 2-15）

（3）优先用途轴、孔的极限偏差（表 2-5 和表 2-6）

							H2		JS1												
							H2		JS2												
							H3		JS3												
							H4		JS4	K4	M4										
						G5	H5		JS5	K5	M5	N5	P5	R5	S5						
					F6	G6	H6	J6	JS6	K6	M6	N6	P6	R6	S6	T6	U6	V6	X6	Y6	Z6
			D7	E7	F7	G7	H7	J7	JS7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7	U7	V7	X7	Y7	Z7
		C8	D8	E8	F8	G8	H8	J8	JS8	K8	M8	N8	P8	R8	S8	T8	U8	V8	X8	Y8	Z8
A9	B9	C9	D9	E9	F9		H9		JS9			N9	P9								
A10	B10	C10	D10	E10			H10		JS10												
A11	B11	C11	D11				H11		JS11												
A12	B12	C12					H12		JS12												
							H13		JS13												

图 2-14　孔的常用和优先公差带

注：1. 孔的一般公差带，共 105 个（包括常用和优先）。

2. 带方框的为常用公差带，共 43 个（包括优先）。

3. 带圆圈中的为优先公差带，共 13 个。

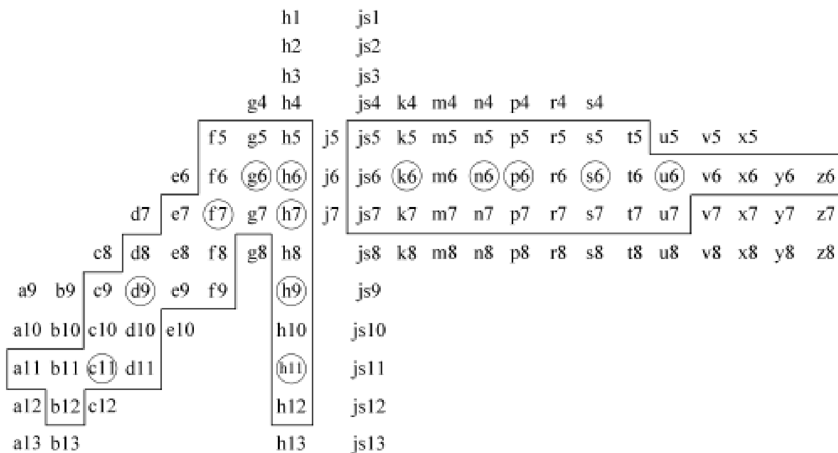


图 2-15　轴的常用和优先公差带

注：1. 轴的一般公差带，共 116 个（包括常用和优先）。
　　2. 带方框的为常用公差带，共 59 个（包括优先）。
　　3. 带圆圈中的为优先公差带，共 13 个。

表 2-5　公称尺寸≤500mm 优先用途轴的极限偏差

（单位：μm）

公称尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
—	3	−60 −120	−20 −45	−6 −16	−2 −8	0 −6	0 −10	0 −25	0 −60	+6 0	+10 +4	+12 +6	+20 +14	+24 +18
3	6	−70 −145	−30 −60	−10 −22	−4 −12	0 −8	0 −12	0 −30	0 −75	+9 +1	+16 +8	+20 +12	+27 +19	+31 +23
6	10	−80 −170	−40 −76	−13 −28	−5 −14	0 −9	0 −15	0 −36	0 −90	+10 +1	+19 +10	+24 +15	+32 +23	+37 +28
10	14	−95 −205	−50 −93	−16 −34	−6 −17	0 −11	0 −18	0 −43	0 −110	+12 +1	+23 +12	+29 +18	+39 +28	+44 +33
14	18													
18	24	−110 −240	−65 −117	−20 −41	−7 −20	0 −13	0 −21	0 −52	0 −130	+15 +2	+28 +15	+35 +22	+48 +35	+54 +41
24	30													+61 +48

（续）

公称尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
30	40	-120 -280	-80 -142	-25 -50	-9 -25	0 -16	0 -25	0 -62	0 -160	+18 +2	+33 +17	+42 +26	+59 +43	+76 +60
40	50	-130 -290												+86 +70
50	65	-140 -330	-100 -174	-30 -60	-10 -29	0 -19	0 -30	0 -74	0 -190	+21 +2	+39 +20	+51 +32	+72 +53	+106 +87
65	80	-150 -340											+78 +59	+121 +102
80	100	-170 -390	-120 -207	-36 -71	-12 -34	0 -22	0 -35	0 -87	0 -220	+25 +3	+45 +23	+59 +37	+93 +71	+146 +124
100	120	-180 -400											+101 +79	+166 +144

（续）

公称尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
120	140	-200 -450											+117 +92	+195 +170
140	160	-210 -460	-145 -245	-43 -83	-14 39	0 -25	0 -40	0 -100	0 -250	+28 +3	+52 +27	+68 +43	+125 +100	+215 +190
160	180	-230 -480											+133 +108	+235 +210
180	200	-240 -530											+151 +122	+265 +236
200	225	-260 -550	-170 -285	-50 -96	-15 -44	0 -29	0 -46	0 -115	0 -290	+33 +4	+60 +31	+79 +50	+159 +130	+287 +258
225	250	-280 -570											+169 +140	+313 +284

（续）

公称尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
250	280	-030 -620	-190 -320	-56 -108	-17 -49	0 -32	0 -52	0 -130	0 -320	+36 +4	+66 +34	+88 +56	+190 +158	+347 +315
280	315	-330 -650											+202 +170	+382 +350
315	355	-360 -720	-210 -350	-62 -119	-18 -54	0 -36	0 -57	0 -140	0 -360	+40 +4	+73 +37	+98 62	+226 +190	+426 +390
355	400	-400 -760											+244 +208	+471 +435
400	450	-440 -840	-230 -385	-68 -131	-20 -60	0 -40	0 -63	0 -155	0 -400	+45 +5	+80 +40	+108 +68	+272 +232	+530 +490
450	500	-480 -880											+292 +252	+580 +540

表 2-6　公称尺寸≤500mm 优先用途孔的极限偏差

（单位：μm）

公称尺寸/mm		公差带												
		C	D	F	G	H				K	N	P	S	U
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
—	3	+120 +60	+45 +20	+20 +6	+12 +2	+10 0	+14 0	+25 0	+60 0	0 −10	−4 −14	−6 −16	−14 −24	−18 −28
3	6	+145 +70	+60 +30	+28 +10	+16 +4	+12 0	+18 0	+30 0	+75 0	+3 −9	−4 −16	−8 −20	−15 −27	−19 −31
6	10	+170 +80	+76 +40	+35 +13	+20 +5	+15 0	+22 0	+36 0	+90 0	+5 −10	−4 −19	−9 −24	−17 −32	−22 −37
10	14	+205 +95	+93 +50	+43 +16	+24 +6	+18 0	+27 0	+43 0	+110 0	+6 −12	−5 −23	−11 −29	−21 −39	−26 −44
14	18													
18	24	+240 +110	+117 +65	+53 +20	+28 +7	+21 0	+33 0	+52 0	+130 0	+6 −15	−7 −28	−14 −35	−27 −48	−33 −54
24	30													−40 −61

（续）

公称尺寸/mm		公差带												
		C	D	F	G	H				K	N	P	S	U
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
30	40	+280 +120	+142 +30	+64 +25	+34 +9	+25 0	+39 0	+62 0	+160 0	+7 −18	−8 −33	−17 −42	−34 59	−51 −76
40	50	+290 +130												−61 −86
50	65	+330 +140	+174 +100	+76 +30	+40 +10	+30 0	+46 0	+74 0	+190 0	+9 −21	−9 −39	−21 −51	−42 −72	−76 −106
65	80	+340 +150											−45 −78	−91 −121
80	100	+390 +170	+207 +120	+90 +36	+47 +12	+35 0	+54 0	+87 0	+220 0	+10 −25	−10 −45	−24 −59	−58 −93	−111 −146
100	120	+490 +180											−66 −101	−131 −166

（续）

公称尺寸/mm		公差带												
		C	D	F	G	H				K	N	P	S	U
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
120	140	+450 +200											−77 −117	−155 −195
140	160	+460 +210	+245 +145	+106 +43	+54 +14	+40 0	+63 0	+100 0	+250 0	+12 −28	−12 −52	−28 −68	−85 −125	−175 −215
160	180	+480 +230											−93 −133	−195 −235
180	200	+530 +240											−105 −151	−219 −265
200	225	+550 +260	+285 +170	+122 +50	+61 +15	+46 0	+72 0	+115 0	+290 0	+13 −33	−14 −60	−33 −79	−113 −159	−241 −287
225	250	+570 +280											−123 −169	−267 −313

（续）

公称尺寸/mm		公差带												
		C	D	F	G	H				K	N	P	S	U
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
250	280	+620 +300	+320 +190	+137 +56	+69 +17	+52 0	+81 0	+130 0	+320 0	+16 −36	−14 −66	−36 88	−138 −190	−295 −347
280	315	+650 +330											−150 −202	−330 −382
315	355	+720 +360	+350 +210	+151 +62	+75 +18	+57 0	+89 0	+140 0	+360 0	+17 −40	−16 −73	−41 −98	−169 −226	−369 −426
355	400	+760 +400											−187 −244	−414 −471
400	450	+840 +440	+385 +230	+165 +68	+83 +20	+63 0	+97 0	+155 0	+400 0	+18 −45	−17 −80	−45 −108	−209 −272	−467 −530
450	500	+880 +480											−229 −292	−517 −580

2.1.2 极限偏差及相关配合的计算

1. 极限偏差的计算

根据孔、轴极限偏差表可直接查出上、下极限偏差。表 2-5、表 2-6 是公称尺寸不大于 500mm 优先用途轴和孔的极限偏差。

例 求 ϕ70f7 的极限偏差。

解 由基本偏差代号 f 可知，小写字母代表轴，应在表 2-5 中查。找到 f 之后，再在 f 的下面找到公差等级 7 的代号，然后沿 f7 该列向下。已知公称尺寸为 ϕ70mm，属表中 65 ~ 80 尺寸段，沿这个公称尺寸段横向向右查，直到与 f7 该列相交处可查得 $^{-30}_{-60}$字样。其中 −30μm 是上极限偏差，−60μm 是下极限偏差。所求的答案是：$\phi30f7\left(^{-0.030}_{-0.060}\right)$。

例 求 ϕ100U7 的极限偏差。

解 由基本偏差代号 U 可知，大写字母代表孔，应在表 2-6 中查。当找到 U 后，再在 U 的下面找到公差等级 7 的代号，然后沿 U7 该列向下。已知公称尺寸为 ϕ100mm，属表中 80 ~ 100 尺寸段，沿这个公称尺寸段横向向右查，直到与 U7 该列相交处可查得 $^{-111}_{-146}$ 的字样。其中 −111μm 是上极限偏差，−146μm 是下极限偏差。所求的答案是：$\phi100U7\left(^{-0.111}_{-0.146}\right)$。

如果根据标准公差、基本偏差来确定另一极限偏差，可先在基本偏差表（表 2-3 和表 2-4）中查出基本偏差数值，再在标准公差数值表（表 2-2）中查出标准公差值（IT），然后根据基本偏差和标准公差，通过计算求出另一极限偏差值。

例　求 $\phi35J6$ 的极限偏差。

解　1）公称尺寸是35mm，公差等级是6级，基本偏差代号J是大写字母，它代表孔的基本偏差。查表2-4，查到J并对应公差等级6，然后沿J6该列向下。公称尺寸35mm属30～40尺寸段，沿这个公称尺寸段横向向右查，直至与J6该列相交，查得数值为+10μm，即为+0.01mm。在表格的上方标注有基本偏差为上极限偏差（ES），所以ES=0.01mm。

2）查表2-2，用同样的方法对应IT6与公称尺寸35mm的尺寸段，可查得IT6=16μm，即0.016mm。

3）计算下极限偏差（EI）

EI=ES－IT=0.01mm－0.016mm=－0.006mm 所求的答案是：$\phi35J6\left(^{+0.01}_{-0.006}\right)$。

例　求 $\phi70t8$ 的极限偏差。

解　公称尺寸是70mm，基本偏差代号为t，小写字母t代表轴，公差等级为8级。

1）查表2-3，可得下极限偏差ei=+0.075mm。

2）查表2-2，可得IT8=0.046mm。

3）计算上极限偏差（es）

es=ei+IT=0.075mm+0.046mm=0.121mm

所求答案是：$\phi70t8\left(^{+0.121}_{+0.075}\right)$。

例　求 $\phi150js12$ 的极限偏差。

解　公称尺寸是150mm，基本偏差代号为js，小写js代表轴，公差等级为12级。

1）查表2-3，可得偏差 $=\pm\dfrac{IT}{2}$，即 $es=\dfrac{IT}{2}$，$ei=$

$-\frac{IT}{2}$。

2）查表 2-2，可得 IT12 = 0.40mm。

3）计算上、下极限偏差

$$es = \frac{IT}{2} = \frac{0.40}{2}mm = 0.20mm$$

$$ei = -\frac{IT}{2} = -\frac{0.40}{2}mm = -0.20mm$$

所求的答案是：$\phi150js12(^{+0.20}_{-0.20})$。

例 求 $\phi24U6$ 的极限偏差。

解 公称尺寸是 24mm，基本偏差代号为 U，大写字母 U 代表孔，公差等级为 6 级。

1）查表 2-4，在查此表时必须注意，基本偏差 K、M、N 中，当公差等级≤8 级时，以及基本偏差在 P 至 ZC 范围内，当公差等级≤7 级时，都要按表中给出的数值增加 Δ 值。

Δ 的数值，可在表的右侧栏内选取，基本偏差代号 U 属 P 至 ZC 范围内，公差等级 6 级应查≤7 这一列。该列中注明，“在 >7 级的相应数值上增加一个 Δ 值”。

公称尺寸为 24mm，U >7 级的基本偏差：从表 2-4 中查得为 -0.041mm，然后查出 Δ 值为 0.004mm。

孔的基本偏差为上极限偏差（ES）

$$ES = -0.041 + \Delta = -0.041mm + 0.004mm = -0.037mm$$

2）查表 2-2 可得 IT6 = 0.013mm。

3）计算下极限偏差（EI）

$$EI = ES - IT = -0.037mm - 0.013mm = -0.05mm$$

所求的答案是：$\phi 24\text{U6}\left(\begin{smallmatrix}-0.037\\-0.05\end{smallmatrix}\right)$。

2. 配合的计算

配合可分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三种。

（1）间隙配合　具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合称为间隙配合。这类配合的特点是：孔的实际尺寸减轴的实际尺寸总是得正值或零，如图 2-16 所示。

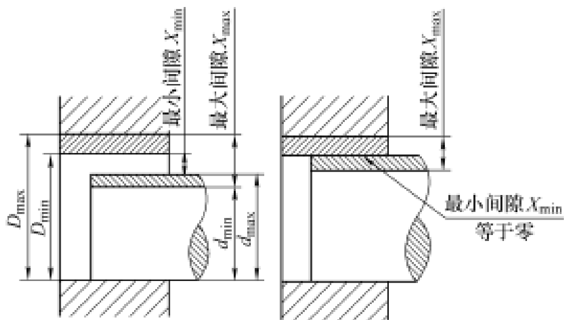


图 2-16　间隙配合

最大间隙 = 孔的上极限尺寸 − 轴的下极限尺寸

$$X_{max} = D_{max} - d_{min}$$

最小间隙 = 孔的下极限尺寸 − 轴的上极限尺寸

$$X_{min} = D_{min} - d_{max}$$

式中　X_{max}——最大间隙（mm）；

X_{min}——最小间隙（mm）。

例　求 $\phi 90\dfrac{\text{H7}\left(\begin{smallmatrix}+0.035\\0\end{smallmatrix}\right)}{\text{h6}\left(\begin{smallmatrix}0\\-0.022\end{smallmatrix}\right)}$配合的最大间隙和最小间隙。

解　已知 $\phi 90H7(^{+0.035}_{0})$，则

$$D_{max}=90mm+0.035mm=90.035mm$$

$$D_{min}=90mm+0=90mm$$

已知 $\phi 90h6(^{0}_{-0.022})$，则

$d_{max}=90mm+0=90mm$

$d_{min}=90mm+(-0.022)mm=89.978mm$

代入上式得 $X_{max}=90.035mm-89.978mm$

$$=0.057mm$$

$$X_{min}=90mm-90mm=0$$

例　求图 2-17 所示轴、孔配合零件的最大间隙和最小间隙。

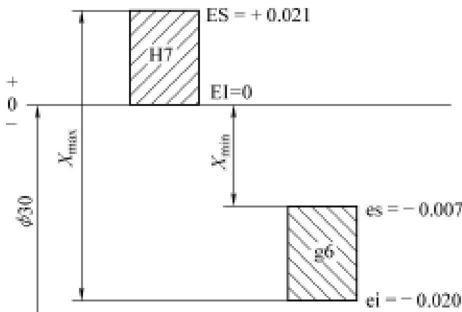


图 2-17　间隙配合公差带

解　按极限尺寸计算

$D_{max}=30mm+0.021mm=30.021mm$

$D_{min}=30mm+0=30mm$

$d_{max} = 30mm + (-0.007)mm = 29.993mm$

$d_{min} = 30mm + (-0.020)mm = 29.98mm$

$X_{max} = 30.021mm - 29.98mm = 0.041mm$

$X_{min} = 30mm - 29.993mm = 0.007mm$

按极限偏差计算

$X_{max} = ES - ei = 0.021mm - (-0.02)mm = 0.041mm$

$X_{min} = EI - es = 0 - (-0.007)mm = 0.007mm$

（2）过盈配合　具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合称为过盈配合，这类配合的特点是：孔的实际尺寸减轴的实际尺寸总是负值或零，如图 2-18 所示。

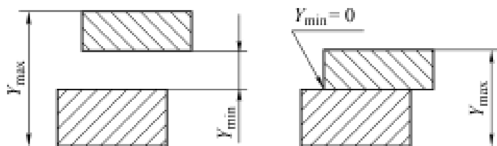


图 2-18　过盈配合

最大过盈 = 孔的下极限尺寸 − 轴的上极限尺寸

$$Y_{max} = D_{min} - d_{max}$$

最小过盈 = 孔的上极限尺寸 − 轴的下极限尺寸

$$Y_{min} = D_{max} - d_{min}$$

式中　Y_{max}——最大过盈（mm）;

Y_{min}——最小过盈（mm）。

例　计算 $\phi 35 \dfrac{H7\left(\begin{smallmatrix}+0.025\\0\end{smallmatrix}\right)}{r6\left(\begin{smallmatrix}+0.05\\+0.034\end{smallmatrix}\right)}$配合的最大过盈和最小过盈量。

解　已知 $\phi 35H7(^{+0.025}_{0})$，则

$D_{max}=35mm+0.025mm=35.025mm$

$D_{min}=35mm+0=35mm$

已知 $\phi 35r6(^{+0.05}_{+0.034})$，则

$d_{max}=35mm+0.05mm=35.05mm$

$d_{min}=35mm+0.034mm=35.034mm$

代入上式得 $Y_{max}=35mm-35.05mm=-0.05mm$

$Y_{min}=35.025mm-35.034mm=-0.009mm$

例　求图2-19所示轴、孔配合零件的最大过盈和最小过盈。

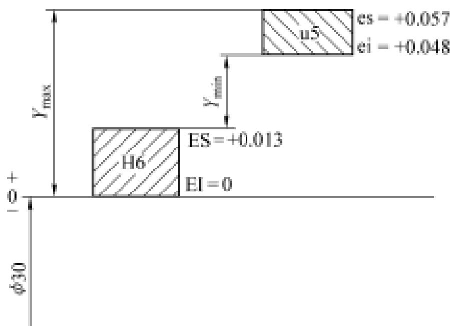


图2-19　过盈配合公差带

解　按极限尺寸计算

$D_{max}=30mm+0.013mm=30.013mm$

$D_{min}=30mm+0=30mm$

$d_{max}=30mm+0.057mm=30.057mm$

$d_{min} = 30mm + 0.048mm = 30.048mm$

$Y_{max} = D_{min} - d_{max} = 30mm - 30.057mm$

$= -0.057mm$

$Y_{min} = D_{max} - d_{min} = 30.013mm - 30.048mm$

$= -0.035mm$

按极限偏差计算

$Y_{max} = EI - es = 0 - 0.057mm = -0.057mm$

$Y_{min} = ES - ei = 0.013mm - 0.048mm = -0.035mm$

（3）过渡配合　可能具有间隙或过盈的配合称为过渡配合。这类配合的特点是：孔的实际尺寸减轴的实际尺寸有可能出现正值，也可能出现负值，如图 2-20 所示。

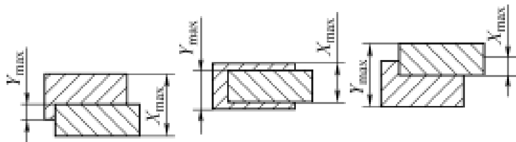


图 2-20　过渡配合

最大间隙　$X_{max} = D_{max} - d_{min}$

最大过盈　$Y_{max} = D_{min} - d_{max}$

式中　X_{max}——最大间隙（mm）；

Y_{max}——最大过盈（mm）。

例　计算 $\phi 90 \dfrac{H7\left(^{+0.035}_{\ \ 0}\right)}{js6\left(^{+0.011}_{-0.011}\right)}$配合的最大间隙和最大过盈量。

解　已知 $\phi 90H7\left(^{+0.035}_{\ \ 0}\right)$，则

D_{max} =90mm +0. 035mm =90. 035mm

D_{min} =90mm +0 =90mm

已知 $\phi 90js6(^{+0.011}_{-0.011})$，则

d_{max} =90mm +0. 011mm =90. 011mm

d_{max} =90mm −0. 011mm =89. 989mm

代入上式得

$$X_{max} = 90.035\text{mm} - 89.989\text{mm} = 0.046\text{mm}$$

$$Y_{max} = 90\text{mm} - 90.011\text{mm} = -0.011\text{mm}$$

若按极限偏差计算，则

$$X_{max} = ES - ei = 0.035\text{mm} - (-0.011)\text{mm} = 0.046\text{mm}$$

$$Y_{max} = EI - es = 0 - 0.011\text{mm} = -0.011\text{mm}$$

例 求图 2-21 所示轴、孔配合零件的最大间隙和最大过盈。

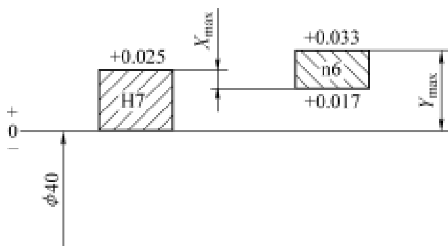


图 2-21 过渡配合公差带

解 按极限尺寸计算

D_{max} =40mm +0. 025mm =40. 025mm

D_{min} =40mm +0 =40mm

$d_{max} = 40mm + 0.033mm = 40.033mm$

$d_{max} = 40mm + 0.017mm = 40.017mm$

$X_{max} = 40.025mm - 40.017mm = 0.008mm$

$Y_{max} = 40mm - 40.033mm = -0.033mm$

按极限偏差计算

$X_{max} = ES - ei = 0.025mm - 0.0177mm = 0.008mm$

$Y_{max} = EI - es = 0 - 0.033mm = -0.033mm$

2.2 工件几何公差的标注（GB/T 1182—2008）

GB/T 1182—2008 规定了工件几何公差（形状、方向、位置和跳动公差）标注的基本要求和方法，适用于工件的几何公差标注。

2.2.1 符号

几何公差的几何特征符号和附加符号见表 2-7、表 2-8。

表 2-7 几何特征符号

公差类型	几何特征	符号	有无基准
形状公差	直线度	—	无
	平面度	▱	无
	圆度	○	无

（续）

公差类型	几何特征	符号	有无基准
形状公差	圆柱度	⌭	无
	线轮廓度	⌒	无
	面轮廓度	⌓	无
方向公差	平行度	//	有
	垂直度	⊥	有
	倾斜度	∠	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有
位置公差	位置度	⌖	有或无
	同心度（用于中心点）	◎	有
	同轴度（用于轴线）	◎	有
	对称度	⌯	有

（续）

公差类型	几何特征	符号	有无基准
位置公差	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有
跳动公差	圆跳动	↗	有
	全跳动	⌰	有

表 2-8　附加符号

说　　明	符　　号
被测要素	
基准要素	A　A
基准目标	$\phi 2$ / A1
理论正确尺寸	50

（续）

说　　明	符　　号
延伸公差带	Ⓟ
最大实体要求	Ⓜ
最小实体要求	Ⓛ
自由状态条件（非刚性零件）	Ⓕ
全周（轮廓）	
包容要求	Ⓔ
公共公差带	CZ
小径	LD
大径	MD
中径、节径	PD
线素	LE
不凸起	NC
任意横截面	ACS

2.2.2 用公差框格标注几何公差的基本要求（表2-9）

表 2-9 用公差框格标注几何公差的基本要求

标注方法及要求	图 示
框格中的内容从左到右顺序填写 第一格填写公差符号 第二格填写公差值及有关符号，如公差带是圆形或圆柱形的则在公差值前加注 ϕ，如是球形则加注 $S\phi$ 第三格及以后填写基准代号	— | 0.1　　// | 0.1 | A　　⌖ | ϕ0.1 | A | C | B ⌖ | $S\phi$0.1 | A | B | C　　◎ | ϕ0.1 | A−B
当某项公差应用于几个相同要素时，应在公差框格的上方被测要素的尺寸之前注明要素的个数，并在两者之间加上符号“×”	6× ▱ | 0.2 6×ϕ12±0.02 ⌖ | ϕ0.1
如果需要限制被测要素在公差带内的形状，应在公差框格的下方注明	▱ | 0.1 NC
如果需要就某个要素给出几种几何特征的公差，可将一个公差框格放在另一个的下面	— | 0.01 // | 0.06 | B

2.2.3 标注方法（表 2-10）

表 2-10 标注方法

名称	图示	说明
被测要素	a) b) c) d) e) f)	用带箭头的指引线将框格与被测要素相连，按以下方式标注： 当公差涉及轮廓线或表面时，将箭头置于要素的轮廓线或轮廓线的延长线上（但必须与尺寸线明显地分开，见图 a 和图 b） 当指向实际表面时，箭头可置于带点的参考线上，该点指在实际表面上（图 c） 当公差涉及轴线、中心平面或由带尺寸要素确定的点时，则带箭头的指引线应与尺寸线的延长线重合（图 d、图 e 和图 f）

（续）

名称	图　　示	说　　明
公差带	0.1 A A a) 基准轴线 b) 0.1 A A α c)	公差带的宽度方向为被测要素的法向（图 a 和图 b）。另有说明时除外（图 c 和图 d） 圆度公差带的宽度应在垂直于公称轴线的平面内确定 注：图 c 中的角度 α（即使它等于 90°）必须注出

（续）

名称	图　　示	说　　明
公差带	α 基准轴线 d)	公差带的宽度方向为被测要素的法向（图 a 和图 b）。另有说明时除外（图 c 和图 d） 圆度公差带的宽度应在垂直于公称轴线的平面内确定 注：图 c 中的角度 α（即使它等于 90°）必须注出

（续）

名称	图　　示	说　　明
公差带	e)	当中心点、中心线、中心面在一个方向上给定公差时： 除非另有说明，位置公差公差带的宽度方向为理论正确尺寸图框的方向，并按指引线箭头所指互成 0°或 90°（图 e）

（续）

名称	图　　示	说　　明
公差带	f）	除非另有说明，方向公差公差带的宽度方向为指引线箭头方向，与基准成0°或90°（图f和图g）

（续）

名称	图　　示	说　　明
公差带	基准平面 基准轴线 g)	除非另有规定，当在同一基准体系中规定两个方向的公差时，它们的公差带是互相垂直的（图 f 和图 g）

（续）

名称	图　　示	说　　明
公差带	// ϕ0.1 A A h) ϕt 基准轴线 i)	若公差值前面标注符号“ϕ”，公差带为圆柱形（图 h 和图 i）或圆形；若公差值前面加注“Sϕ”，公差带为圆球形

（续）

名称	图　　示	说　　明
公差带	▱ 0.1 j)	对几个表面有同一数值的公差带要求，其表示方法可按图 j 所示

（续）

名称	图　　示	说　　明
公差带	0.1CZ k)	用同一公差带控制几个被测要素时，应在公差框格内公差值的后面加注公共公差带的符号（图 k）

（续）

名称	图　　示	说　　明
基准	a) b)	相对于被测要素的基准，用一个大写字母表示。字母标注在基准方格内，与一个涂黑的或空白的三角形相连以表示基准（图 a），表示基准的字母也应注在公差框格内（图 b） 注：涂黑的和空白的基准三角形含义相同

（续）

名称	图示	说明
基准	A B c) A d)	带基准字母的基准三角形应按规定放置； 当基准要素是轮廓线或轮廓面时，基准三角形放置在要素的轮廓线或其延长线上（与尺寸线明显错开，见图 c）；基准三角形也可放置在该轮廓面引出线的水平线上（图 d）

（续）

名称	图　　示	说　　明
基　准	A　e)　A　B　f)　B　g)　A　h)	当基准要素是轴线、中心平面或中心点时，基准三角形放置在该尺寸线的延长线上（图 e、图 f、图 g），如尺寸线处按排不下两个箭头，则其中一个箭头可用基准三角形代替（图 f、图 g） 如果只以要素的某一局部作基准，则应用粗点画线表示出该部分并加注尺寸（图 h）

（续）

名称	图　　示	说　　明
基准	A i) A–B j) A B C k)	单一基准要素，用一个大写字母表示（图 i） 由两个要素组成的公共基准，用中间加连字符的两个大写字母表示（图 j） 由两个或三个要素组成的基准体系时（即采用多基准），表示基准的大写字母应按基准的优先顺序自左至右填写在各框格内（图 k）

（续）

名称	图　　示	说　　明
附加标记	a) b)	如果轮廓度公差适用于横截面内的整个外轮廓线或整个外轮廓面时，应采用“全周”符号表示（图 a、图 b） 注：“全周”符号只包括由轮廓和公差所表示的各个表面

（续）

名称	图　　示	说　　明
附加标记	⌖ ϕ0.1 A B MD c) A LD d)	在一般情况下，螺纹的轴线作为被测要素或基准要素均为中径圆柱的轴线，如果用大径圆柱的轴线则用“MD”表示，采用小径圆柱的轴线用“LD”表示（图 c、图 d） 齿轮和花键轴线作为被测要素或基准要素时，节径圆柱的轴线用“PD”表示，大径圆柱的轴线用“MD”表示，小径圆柱的轴线用“LD”表示

（续）

名称	图　　示	说　　明
理论正确尺寸	8×φ15H7 ⌖ φ0.1 A B B 30 20 15 30 30 30 A a) ∠ 0.1 A 60° A b)	对于要素的位置度、轮廓度或倾斜度，其尺寸由不带公差的理论正确位置、轮廓或角度确定，这种尺寸称“理论正确尺寸” 理论正确尺寸应围以框格，零件实际尺寸仅是由在公差框格中位置度、轮廓度或倾斜度公差来限定的（图 a 和图 b）

（续）

名称	图　　示	说　　明
限定性规定	— 0.05/200 a) — 0.1 / 0.05/200 b)	如果对同一要素的公差值在全部被测要素内的任一部分有进一步的限制时，可在公差值的后面加注限定范围的线性尺寸值，并在两者间用斜线隔开（图 a）；如果标注的是两项或两项以上同样几何特征的公差，可以直接在表示全部被测要素公差要求的框格下方放置另一个公差框格（图 b）

（续）

名称	图　　示	说　　明
限定性规定	c) d)	如果给出的公差仅适用于被测要素的某一指定局部，则用粗点画线表示其范围，并加注尺寸（图 c、图 d） 如果仅只以要素的某一局部作为基准，则该部分应用粗点画线表示并加注尺寸，参见本表“基准”一项的图 h

（续）

名称	图示	说明
延伸公差带		延伸公差带用附加符号Ⓟ表示，详见 GB/T 17773—1999

（续）

名称	图　　示	说　　明
最大实体要求	⌖ | φ0.04 Ⓜ | A a) ⌖ | φ0.04 | A Ⓜ b) ⌖ | φ0.04 Ⓜ | A Ⓜ c)	最大实体要求用附加符号Ⓜ表示。该符号可根据需要单独或同时标注在相应公差值或基准字母的后面，或同时置于两者后面（图 a、图 b、图 c）
最小实体要求	⌖ | φ0.5 Ⓛ | A a) ⌖ | φ0.5 | A Ⓛ b) ⌖ | φ0.5 Ⓛ | A Ⓛ c)	最小实体要求用附加符号Ⓛ表示，该符号可根据需要单独或同时标注在相应公差值或基准字母的后面，或同时置于两者后面（图 a、图 b、图 c）

（续）

名称	图　　示	说　　明
自由状态下的要求	○ 2.8 Ⓕ a) ○ 0.025 / 0.3 Ⓕ b)	对于非刚性零件的自由状态条件用符号Ⓕ表示，该符号置于给出的公差值后面（图 a、图 b）

注：各附加符号Ⓟ、Ⓜ、Ⓛ、Ⓕ和 CZ，可同时用于同一个公差框格中，例如：



2.2.4　图样上标注公差值的规定（GB/T 1184—1996）

1. GB/T 1184—1996 规定提出了下列项目的公差值或数系表

1）直线度、平面度。

2）圆度、圆柱度。

3）平行度、垂直度、倾斜度。

4）同轴度、对称度、圆跳动和全跳动。

5）位置度数系。

2. 公差值的选用原则

1）根据零件的功能要求，并考虑加工的经济性和零件的结构、刚性等情况，按表中数系确定要素的公差值，并考虑下列情况：

① 在同一要素上给出的形状公差值应小于位置公差值。如要求平行的两个表面，其平面度公差值应小于平行度公差值。

② 圆柱形零件的形状公差值（轴线的直线度除外），一般情况下应小于其尺寸公差值。

③ 平行度公差值应小于其相应的距离公差值。

2）对于下列情况，考虑到加工的难易程度和除主参数外其他参数的影响，在满足零件功能的要求下，适当降低 1 ~ 2 级选用。

① 孔相对于轴。

② 细长比较大的轴或孔。

③ 距离较大的轴或孔。

④ 宽度较大（一般大于 1/2 长度）的零件表面。

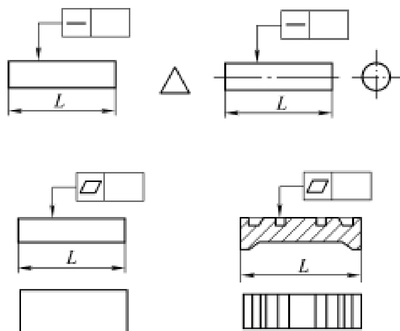
⑤ 线对线和线对面相对于面对面的平行度。

⑥ 线对线和线对面相对于面对面的垂直度。

2.2.5 公差值表

1. 直线度、平面度公差值（表 2-11）

表 2-11 直线度、平面度公差值

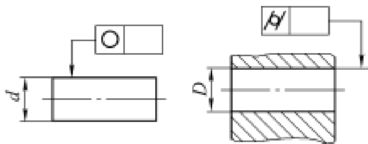


（续）

主参数 *L* /mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/μm											
≤10	0.2	0.4	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60
>10～16	0.25	0.5	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80
>16～25	0.3	0.6	1.2	2	3	5	8	12	20	30	50	100
>25～40	0.4	0.8	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120
>40～63	0.5	1	2	3	5	8	12	20	30	50	80	150
>63～100	0.6	1.2	2.5	4	6	10	15	25	40	60	100	200
>100～160	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120	250
>160～250	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150	300
>250～400	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200	400
>400～630	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250	500
>630～1000	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300	600

2. 圆度、圆柱度公差值（表2-12）

表2-12　圆度、圆柱度公差值



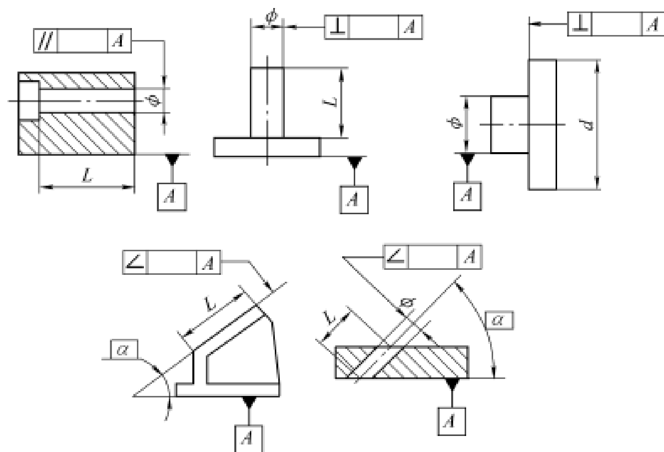
主参数 d（D）/mm	公差等级												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/μm												
≤3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25
>3～6	0.1	0.2	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30
>6～10	0.12	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36

（续）

主参数 $d(D)$/mm	公差等级												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/μm												
>10～18	0.15	0.25	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43
>18～30	0.2	0.3	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52
>30～50	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62
>50～80	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74
>80～120	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87
>120～180	0.6	1	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100
>180～250	0.8	1.2	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115
>250～315	1.0	1.6	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130
>315～400	1.2	2	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140
>400～500	1.5	2.5	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155

3. 平行度、垂直度、倾斜度公差值（表 2-13）

表 2-13　平行度、垂直度、倾斜度公差值

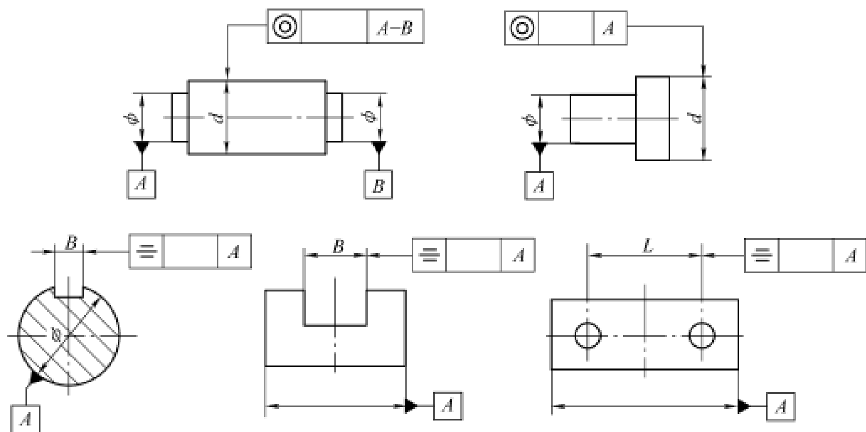


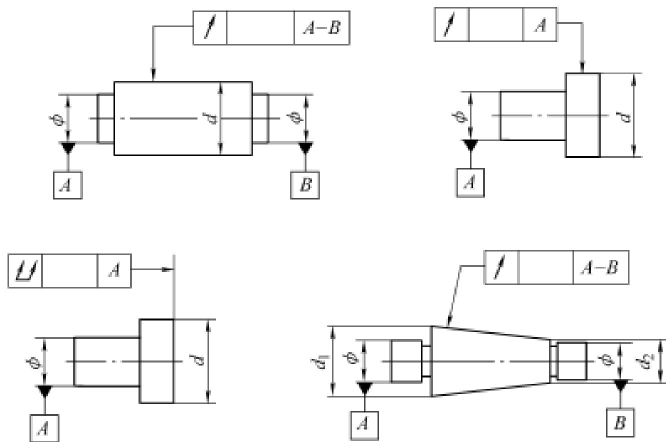
（续）

主参数 L，d（D）/mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/μm											
≤10	0.4	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120
>10～16	0.5	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150
>16～25	0.6	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200
>25～40	0.8	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250
>40～63	1	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300
>63～100	1.2	2.5	5	10	15	25	40	60	100	150	250	400
>100～160	1.5	3	6	12	20	30	50	80	120	200	300	500
>160～250	2	4	8	15	25	40	60	100	150	250	400	600
>250～400	2.5	5	10	20	30	50	80	120	200	300	500	800
>400～630	3	6	12	25	40	60	100	150	250	400	600	1000
>630～1000	4	8	15	30	50	80	120	200	300	500	800	1200

4. 同轴度、对称度、圆跳动和全跳动公差值（表 2-14）

表 2-14　同轴度、对称度、圆跳动和全跳动公差值





当被测要素为圆锥面时，取$d=\frac{d_1+d_2}{2}$

（续）

主参数 *d*（*D*），*B*，*L*/mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/μm											
≤1	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60
>1~3	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	20	40	60	120
>3~6	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	12	25	50	80	150
>6~10	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	30	60	100	200
>10~18	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	40	80	120	250
>18~30	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	50	100	150	300
>30~50	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60	120	200	400
>50~120	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80	150	250	500
>120~250	2	3	5	8	12	20	30	50	100	200	300	600
>250~500	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120	250	400	800
>500~800	3	5	8	12	20	30	50	80	150	300	500	1000
>800~1250	4	6	10	15	25	40	60	100	200	400	600	1200

2.2.6 几何公差未注公差值（GB/T 1184—1996）

1. 形状公差的未注公差值

1）直线度和平面度的未注公差值见表 2-15。选择公差值时，对于直线度应按其相应线的长度选择；对于平面度应按其表面的较长一侧或圆表面的直径选择。

2）圆度的未注公差值等于标准的直径公差值，但不能大于表 2-18 中圆跳动的未注公差值。

3）圆柱度的未注公差值不做规定。圆柱度误差由三个部分组成：圆度、直线度和相对素线的平行度误差，而其中每一项误差均由它们的注出公差或未注公差控制。如因功能要求，圆柱度应小于圆度、直线度和平行度的未注公差的综合结果，应在被测要素上按 GB/T 1182—2008 的规定注出圆柱度公差值，或采用包容要求。

表 2-15　直线度和平面度的未注公差值

（单位：mm）

公差等级	基本长度范围					
	≤10	>10～30	>30～100	>100～300	>300～1000	>1000～3000
H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
L	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6

2. 方向、位置、跳动公差的未注公差值

1）平行度的未注公差值等于给出的尺寸公差值，或是直线度和平面度未注公差值中的相应公差值取较大者。应取两要素中的较长者作为基准；若两要素的长度相等，则可选任一要素为基准。

2）垂直度的未注公差值见表 2-16。取形成直角的两边中较长的一边作为基准，较短的一边作为被测要素；若两边的长度相等，则可取其中的任意一边为基准。

表 2-16 垂直度的未注公差值

（单位：mm）

公差等级	基本长度范围			
	≤100	>100～300	>300～1000	>1000～3000
H	0.2	0.3	0.4	0.5
K	0.4	0.6	0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

3）对称度的未注公差值见表 2-17。应取两要素中较长者作为基准，较短者作为被测要素；若两要素长度相等，则可选任一要素为基准。

4）同轴度的未注公差值未做规定。在极限状况下，同轴度的未注公差值与圆跳动的未注公差值相等。

表 2-17　对称度的未注公差值

（单位：mm）

公差等级	基本长度范围			
	≤100	>100~300	>300~1000	>1000~3000
H	0.5			
K	0.6		0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

5）圆跳动（径向、端面和斜向）的未注公差值见表2-18。对于圆跳动未注公差值，应以设计和工艺给出的支承面作为基准，否则应取两要素中较长的一个作为基准；若两要素的长度相等，则可选任一要素为基准。

表 2-18　圆跳动的未注公差值

（单位：mm）

公差等级	H	K	L
圆跳动公差值	0.1	0.2	0.5

2.3 表面粗糙度的标注

2.3.1 表面粗糙度符号、代号及标注（GB/T 131—2006）

1. 表面粗糙度的符号（表2-19）

表2-19 表面粗糙度的符号

<table>
<tr><th colspan="2">符号类型</th><th>符　号</th><th>意　　义</th></tr>
<tr><td colspan="2">基本图形符号</td><td></td><td>仅用于简化代号标注,没有补充说明时不能单独使用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">扩展图形符号</td><td>要求去除材料的图形符号</td><td></td><td>在基本图形符号上加一短横，表示指定表面是用去除材料的方法获得，如通过机械加工获得的表面</td></tr>
<tr><td>不去除材料的图形符号</td><td></td><td>在基本图形符号上加一个圆圈,表示指定表面是用不去材料方法获得</td></tr>
</table>

（续）

符号类型		符　号	意　　义
完整图形符号	允许任何工艺		当要求标注表面粗糙度特征的补充信息时，应在基本图形符号和扩展图形符号的长边上加一横线
	去除材料		
	不去除材料		
工件轮廓各表面的图形符号			当在图样某个视图上构成封闭轮廓的各表面有相同的表面粗糙度要求时，应在完整图形符号上加一圆圈，标注在图样中工件的封闭轮廓线上。如果标注会引起歧义时，各表面应分别标注

2. 表面粗糙度代号

在表面粗糙度符号的规定位置上，注出表面粗糙度数值及相关的规定项目后就形成了表面粗糙度代号。表面粗糙度代号标注方法见表2-20。

表2-20 表面粗糙度代号标注方法

图 示	标注方法说明
	位置a注写表面粗糙度的单一要求:标注表面粗糙度参数代号、极限值和传输带或取样长度。为了避免误解，在参数代号和极限值间应插入空格。传输带或取样长度后应有一斜线“/”，之后是表面粗糙度参数代号，最后是数值，如：-0.8/*Rz* 6.3 位置a和b注写两个或多个表面粗糙度要求：在位置a注写一个表面粗糙度要求，方法同上。在位置b注写第二个表面粗糙度要求。如果要注写第三个或更多个表面粗糙度要求，图形符号应在垂直方向扩大，以空出足够的空间。扩大图形符号时，a和b的位置随之上移 位置c注写加工方法：注写加工方法、表面处理、涂层或其他加工工艺要求等。如车、磨、镀等加工表面 位置d注写表面纹理和方向：注写所要求的表面纹理和纹理的方向，如“=”“X”“M” 位置e注写加工余量：注写所要求的加工余量，以mm为单位给出数值

3. 表面粗糙度评定参数的标注

表面粗糙度评定参数必须注出参数代号和相应数值，数值的单位均为 μm，数值的判断规则有两种：

1）16% 规则，是所有表面粗糙度要求标注的默认规则。

2）最大规则，应用于表面粗糙度要求时，则参数代号中应加上“max”。

当图样上标注参数的最大值（max）或（和）最小值（min）时，表示参数中所有的实测值均不得超过规定值。当图样上采用参数的上限值（用 U 表示）或（和）下限值（用 L 表示）时（表 2-21 中未标注 max 或 min 的），表示参数的实测值中允许少于总数的 16% 的实测值超过规定值。表面粗糙度代号的标注示例及意义见表 2-21。

表 2-21　表面粗糙度代号的标注示例及意义

符　　号	含义/解释
Rz 0.4	表示不允许去除材料，单向上限值，表面粗糙度的最大高度为 0.4μm，评定长度为 5 个取样长度（默认），“16% 规则”（默认）
Rz max 0.2	表示去除材料，单向上限值，表面粗糙度最大高度的最大值为 0.2μm，评定长度为 5 个取样长度（默认），“最大规则”

（续）

符　　号	含义/解释
−0.8/Ra3 3.2	表示去除材料，单向上限值，取样长度 0.8μm，算术平均偏差 3.2μm，评定长度包含 3 个取样长度，“16%规则”（默认）
U Ra max 3.2 L Ra 0.8	表示不允许去除材料，双向极限值，上限值：算术平均偏差 3.2μm，评定长度为 5 个取样长度（默认），“最大规则”；下限值：算术平均偏差 0.8μm，评定长度为 5 个取样长度（默认），“16%规则”（默认）
车 Rz 3.2	零件加工的表面粗糙度要求由指定的加工方法获得时，用文字标注在符号上边的横线上
Fe/Ep·Ni15pCr0.3r Rz 0.8	在符号的横线上面可注写镀（涂）覆或其他表面处理要求。镀覆后达到的参数值这些要求也可在图样的技术要求中说明
铣 Ra 0.8 Rz 3.2 ⊥	需要控制表面加工纹理方向时，可在完整符号的右下角加注加工纹理方向符号

（续）

符　　号	含义/解释
（图形符号，左下方标注 3）	在同一图样中，有多道加工工序的表面可标注加工余量时，加工余量标注在完整符号的左下方，单位为 mm

注：评定长度的（*ln*）的标注：

若所标注的参数代号没有“max”，表明采用的是有关标准中默认的评定长度。

若不存在默认的评定长度时，参数代号中应标注取样长度的个数，如 *Ra*3，*Rz*3，*RSm*3……（要求评定长度为 3 个取样长度）。

4. 常见的加工纹理方向（表 2-22）

表 2-22　常见的加工纹理方向

符号	说　　明	示　意　图
=	纹理平行于视图所在的投影面	
⊥	纹理垂直于视图所在的投影面	

（续）

符号	说　　明	示　意　图
×	纹理呈两斜向交叉且与视图所在的投影面相交	纹理方向
M	纹理呈多方向	
C	纹理呈近似同心圆且圆心与表面中心相关	
R	纹理呈近似的放射状与表面圆心相关	
P	纹理呈微粒、凸起，无方向	

注：如果表面纹理不能清楚地用这些符号表示，必要时，可以在图样上加注说明。

5. 表面粗糙度标注方法新旧标准对照（表 2-23）

表 2-23　表面粗糙度标注方法新旧标准对照

GB/T 131—1983	GB/T 131—1993	GB/T 131—2006	说明主要问题的示例
1.6	1.6　1.6	*Ra* 1.6	*Ra* 只采用"16%规则"
Ry 3.2	*Ry* 3.2　*Ry* 3.2	*Rz* 3.2	除了 *Ra* "16%规则" 的参数
—	1.6max	*Ra* max 1.6	"最大规则"
1.6　0.8	1.6　0.8	-0.8/*Ra* 1.6	*Ra* 加取样长度
Ry 3.2　0.8	*Ry* 3.2　0.8	-0.8/*Rz* 6.3	除 *Ra* 外其他参数及取样长度

（续）

GB/T 131—1983	GB/T 131—1993	GB/T 131—2006	说明主要问题的示例
1.6 Ry 6.3	1.6 Ry 6.3	Ra 1.6 Rz 6.3	Ra 及其他参数
—	Ry 3.2	Rz3 6.3	评定长度中的取样长度个数如果不是5，则要注明个数（此例表示比例取样长度个数为3）
—	—	L Rz 1.6	下限值
3.2 1.6	3.2 1.6	U Ra 3.2 L Rz 1.6	上、下限值

2.3.2 表面粗糙度代号在图样上的标注方法

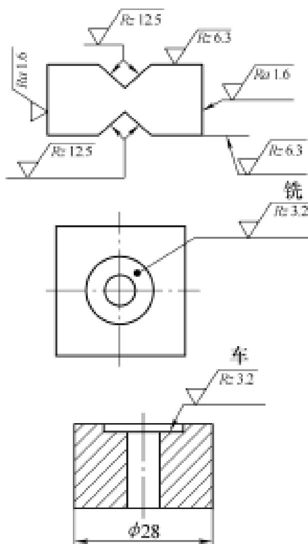
表面粗糙度要求对每一表面一般只标注一次，并尽可能注在相应的尺寸及其公差的同一视图上。除非另有说明，所标注的表面粗糙度要求是对完工零件表面的要求。

1. 表面粗糙度在图样上标注方法示例（表2-24）

表2-24 表面粗糙度在图样上标注方法示例

图　示	标注方法说明
	表面粗糙度的注写和读取方向与尺寸的注写和读取方向一致

（续）

图　示	标注方法说明
	表面粗糙度要求可标注在轮廓线上，其符号应从材料外指向并接触表面。必要时，表面粗糙度符号也可用带箭头或黑点的指引线引出标注

（续）

图　　示	标注方法说明
φ120H7 Rz 12.5 φ120h6 Rz 6.3	在不致引起误解时，表面粗糙度要求可以标注在给定的尺寸线上
Ra 1.6 0.1 Rz 6.3 φ10±0.1 φ0.2 A B	表面粗糙度要求可标注在几何公差框格的上方

（续）

图　　示	标注方法说明
Rz 1.6 Rz 6.3	表面粗糙度要求可以直接标注在延长线上
Rz 6.3 Rz 6.3 Ra 1.6 Ra 3.2 Ra 1.6 Ra 6.3 Ra 6.3	圆柱和棱柱表面的表面粗糙度要求只标注一次。如果每个棱柱表面有不同的表面粗糙度要求，则应分别单独标注

（续）

图　　示	标注方法说明
Fe/Ep·Cr2.5b Ra 0.8 Rz 0.8 M20－6h	由几种不同的工艺方法获得的同一表面，当需要明确每种工艺方法的表面粗糙度要求时的标注方法

2. 表面粗糙度简化标注方法示例（表 2-25）

表 2-25　表面粗糙度简化标注方法示例

图　　示	标注方法说明
Rz 6.3 Rz 1.6 Ra 3.2 (√) a) Rz 6.3 Rz 1.6 Ra 3.2 (Ra 1.6 Ra 6.3) b)	有相同表面粗糙度要求的简化注法 如果在工件的多数(包括全部)表面有相同的表面粗糙度要求，则其表面粗糙度要求可统一标注在图样的标题栏附近。此时（除全部表面有相同要求的情况外），表面粗糙度要求在符号后面应有： 1）在圆括号内给出无任何其他标注的基本符号（图 a） 2）在圆括号内给出不同的表面粗糙度要求（图 b） 不同表面粗糙度要求应直接标注在图形中

（续）

图　　示	标注方法说明
z　y　z = U *Rz* 1.6 L *Ra* 0.8　y = *Ra* 3.2 a) = *Ra* 3.2 b) = *Ra* 3.2 c) = *Ra* 3.2 d)	多个表面有共同要求的注法 当多个表面具有相同的表面粗糙度要求或图纸空间有限时的简化注法 1）图纸空间有限时，可用带字母的完整符号，以等式的形式，在图形或标题栏附近，对有相同表面结构要求的表面进行简化标注（图 a） 2）只用表面粗糙度符号的简化注法： 可用基本和扩展的表面粗糙度符号，以等式的形式给出对多个表面共同的表面粗糙度要求 ① 未指定工艺方法的多个表面粗糙度要求的简化注法（图 b） ② 要求去除材料的多个表面粗糙度要求的简化注法（图 c） ③ 不允许去除材料的多个表面粗糙度要求的简化注法（图 d）

2.3.3　各级表面粗糙度的表面特征及应用举例（表 2-26）

表 2-26　各级表面粗糙度的表面特征及应用举例

表面特征		*Ra*/μm	*Rz*/μm	应用举例
粗糙表面	可见刀痕	>20~40	>80~160	半成品粗加工过的表面，非配合的加工表面，如轴端面、倒角、钻孔、齿轮和带轮侧面、键槽底面、垫圈接触面等
	微见刀痕	>10~20	>40~80	
半光表面	微见加工痕迹	>5~10	>20~40	轴上不安装轴承或齿轮处的非配合表面、紧固件的自由装配表面、轴和孔的退刀槽等
	微辨加工痕迹	>2.5~5	>10~20	半精加工表面，箱体、支架、端盖、套筒等和其他零件接合而无配合要求的表面，需要发蓝的表面等
	看不清加工痕迹	>1.25~2.5	>6.3~10	接近于精加工表面、箱体上安装轴承的镗孔表面、齿轮的工作面

（续）

表面特征		Ra/μm	Rz/μm	应用举例
光表面	可辨加工痕迹方向	>0.63～1.25	>3.2～6.3	圆柱销、圆锥销，与滚动轴承配合的表面，普通车床导轨面，内、外花键定心表面等
	微辨加工痕迹方向	>0.32～0.63	>1.6～3.2	要求配合性质稳定的配合表面，工作时受交变应力的重要零件，较高精度车床的导轨面
	不可辨加工痕迹方向	>0.16～0.32	>0.8～1.6	精密机床主轴锥孔，顶尖圆锥面，发动机曲轴、凸轮轴工作表面，高精度齿轮齿面

（续）

表面特征		Ra/μm	Rz/μm	应用举例
极光表面	暗光泽面	>0.08～0.16	>0.4～0.8	精度机床主轴颈表面、一般量规工作表面、气缸套内表面、活塞销表面等
	亮光泽面	>0.04～0.08	>0.2～0.4	精度机床主轴颈表面、滚动轴承的滚动体、高压油泵中柱塞和柱塞套配合的表面
	镜状光泽面	>0.01～0.04	>0.05～0.2	
	镜面	≤0.01	≤0.05	高精度量仪、量块的工作表面，光学仪器中的金属镜面

第 3 章　常用零件画法

3.1　螺纹及螺纹紧固件

1. 螺纹的规定画法（表 3-1）

表 3-1　螺纹的规定画法（GB/T 4459.1—1995）

规定说明	图　　例
螺纹牙顶圆的投影用粗实线表示，牙底圆的投影用细实线表示，在螺杆的倒角或倒圆部分也应画出 在垂直于螺纹轴线的投影面的视图中，表示牙底圆的细实线只画约 3/4 圈（空出约 1/4 圈的位置不做规定）。此时，螺杆或螺孔上的倒角投影不应画出 有效螺纹的终止界线（简称螺纹终止线）用粗实线表示 无论是外螺纹还是内螺纹，在剖视图、断面图中，剖面线都应画到粗实线	

（续）

规定说明	图　　例
绘制不穿通的螺孔时，一般应将钻孔深度与螺纹部分深度分别画出 螺尾部分一般不画出，当需要表示螺尾时，该部分用和轴线成30°的细实线画出	
不可见螺纹的所有图线用虚线绘制	
需要表示螺纹牙型时的表示方法见图例	5:1

（续）

规定说明	图　　例
圆锥外螺纹和圆锥内螺纹的表示方法见图例	
以剖视图表示内、外螺纹连接时，其旋合部分应按外螺纹的画法绘制，其余部分仍按各自的画法表示	A A A—A

2. 螺纹的标注（表 3-2）

表 3-2　螺纹的标注（GB/T 4459. 1—1995）

规定说明	图　　例
普通螺纹 公称直径以 mm 为单位的螺纹，其标记应直接注在大径的尺寸线或其引出线上	M20－6g M10－6H M16×1.5－5g6g－S Tr32×6LH－7e
管螺纹 其标记一律注在引出线上，引出线应由大径处引出，或由对称中心处引出	G1A Rc1/2 NPT3/4－LH $R_1$3/4

（续）

规定说明	图　　例
米制锥螺纹 其标记一般应注在引出线上，引出线应由大径或对称中心处引出，也可以直接标注在从基面处画出的尺寸线上	Mc14−S Mc18 7
非标准螺纹 应画出螺纹的牙型，并注出所需要的尺寸及有关要求	M12×0.5−6H φ16 −0.032 −0.268 10:1 60° 1.5 φ14.8 φ15 −0.032 −0.172 φ16 −0.032 −0.268

（续）

规定说明	图例
螺纹长度 图例中标注的螺纹长度，均指不包括螺尾在内的有效螺纹长度，否则应另加说明或按实际需要标注	
螺纹副 螺纹副标记与螺纹标记，两者标注方法相同 米制螺纹，其标记应直接标注在大径的尺寸线上或引出线上 管螺纹，其标记应采用引出线由配合部分的大径处引出标注 米制锥螺纹，其标记一般应采用引出线由配合部分的大径处引出标注，也可直接标注在从基面处画出的尺寸线上	

3. 装配图中螺纹紧固件的画法（表3-3）

表3-3　装配图中螺纹紧固件的画法

规定说明	图　例
在装配图中，当剖切平面通过螺杆的轴线时，对于螺柱、螺栓、螺钉、螺母及垫圈等均按未剖切绘制	
螺纹紧固件的工艺结构，如倒角、退刀槽、缩颈、凸肩等均可省略不画	

（续）

规定说明	图　　例
不穿通的螺纹孔可不画出钻孔深度，仅按有效螺纹部分的深度（不包括螺尾）画出	

4. 常用紧固件的简化画法（表 3-4）

表 3-4　常用紧固件的简化画法

类　　型	图　　例
六角头螺栓	
方头螺栓	

（续）

类　型	图　例
圆柱头内六角螺钉	
无头内六角螺钉	
无头开槽螺钉	
沉头开槽螺钉	
半沉头开槽螺钉	
圆柱头开槽螺钉	

（续）

类　　型	图　　例
盘头开槽螺钉	
沉头开槽自攻螺钉	
六角螺母	
方头螺母	
六角开槽螺母	
六角法兰面螺母	

（续）

类　　型	图　　例
蝶形螺母	
沉头十字槽螺钉	
半沉头十字槽螺钉	
盘头十字槽螺钉	
六角法兰面螺栓	
圆头十字槽木螺钉	

3.2 齿轮、齿条、蜗杆、蜗轮及链轮的画法（GB/T 4459.2—2003）

1. 齿轮、齿条、蜗轮及链轮的画法（表3-5）

表3-5 齿轮、齿条、蜗轮及链轮的画法

规定说明	图　例
齿轮部分绘制的规定： 1）齿顶圆和齿顶线用粗实线绘制 2）分度圆和分度线用点画线绘制 3）齿根圆和齿根线用细实线绘制，也可省略不画。在剖视图中，齿根线用粗实线绘制 表示齿轮、蜗轮一般用两个视图，或者用一个视图和一个局部视图 在剖视图中，当剖切平面通过齿轮的轴线时，轮齿一律按不剖处理	a) 圆柱齿轮　b) 锥齿轮 c) 蜗轮

（续）

规定说明	图　　例
需要注出齿条的长度时，可在画出齿形的图中注出，并在另一视图中用粗实线画出其范围线	A—A A A
如需表明齿形，可在图形中用粗实线画出一个或两个齿（图 a），或用适当比例的局部放大图表示 图 b 为圆弧齿轮的画法	2:1 a) b)

（续）

规定说明	图　　例
当需要表示齿线的形状时，可用三条与齿线方向一致的细实线表示。直齿则不需要表示	
链轮的画法	1:1

2. 齿轮、蜗杆、蜗轮啮合画法（表3-6）

表3-6　齿轮、蜗杆、蜗轮啮合画法

规定说明	图　　例
在垂直于圆柱齿轮轴线的投影面的视图中，啮合区内的齿顶圆均用粗实线绘制，如图a所示。也可采用省略画法，如图b所示 在剖视图中，当剖切平面通过两啮合齿轮的轴线时，在啮合区内，将一个齿轮的轮齿用粗实线绘制，另一个齿轮的轮齿被遮挡的部分用虚线绘制，如图a所示。也可省略不画 在剖视图中，当剖切平面不通过啮合齿轮的轴线时，齿轮一律按不剖绘制	a) b)

（续）

规定说明	图 例
在平行齿轮轴线的投影面的外形视图中，啮合区的齿顶线不需画出，节线用粗实线绘制，其他处的节线仍用细点画线绘制	
内啮合齿轮画法	
齿轮、齿条啮合画法	

（续）

规定说明	图　　例
锥齿轮啮合（轴线成直角）的画法	
螺旋齿轮啮合（轴线成直角）的画法	

（续）

规定说明	图　　例
蜗轮、蜗杆啮合（圆柱蜗杆）的画法	

3.3 矩形花键的画法及其尺寸标注（表 3-7）

表 3-7 矩形花键的画法及其尺寸标注

（GB/T 4459.3—2000）

规定说明	图例
在平行于花键轴线的投影面的视图中，外花键大径用粗实线、小径用细实线绘制，并在断面图中画出一部分或全部齿形 花键工作长度的终止端和尾部长度的末端均用细实线绘制，并与轴线垂直，尾部则画成斜线，其倾斜角度一般与轴线成 30°。必要时，可按实际情况画出	

（续）

规定说明	图　例
在平行于花键轴线的投影面的视图中，内花键大径与小径均用粗实线绘制，并用局部视图画出一部分或全部齿形	6齿 b D d L 或
大径、小径及键宽采用一般尺寸标注时，其注法如本表中外花键和内花键图例 若采用标准规定的花键标记标注时，其注法见图例	⎍6×23f7×26a11×6d10 GB/T 1144—2001 L a) 外花键 b 6齿 D 或 d L ⎍6×23H7×26H10×6H11 GB/T 1144—2001 b) 内花键 图中： ⎍（矩形花键符号） 键数×小径×大径×键宽

（续）

规定说明	图例
花键连接用剖视图表示时，其连接部分按外花键绘制，矩形花键的连接画法见图例	

3.4　弹簧画法（GB/T 4459.4—2003）

1. 螺旋弹簧画法（表 3-8）

1）在平行于螺旋弹簧轴线的投影面的视图中，其各圈的轮廓线应画成直线。

2）螺旋弹簧均可画成右旋，对必须保证的旋向要求应在“技术要求”中注明。

3）螺旋压缩弹簧，如要求两端并紧且磨平时，不论支承圈的圈数多少和末端贴紧情况如何，均按表 3-8 中的形式绘制。必要时也可按支承圈的实际结构绘制。

4）有效圈数在四圈以上螺旋弹簧中间部分可以省略。圆柱螺旋弹簧中间省略后，允许适当缩短图形的长度。

表 3-8　螺旋弹簧画法

类型	视　图	剖视图	示意图
圆柱螺旋压缩弹簧			
截锥螺旋压缩弹簧			

（续）

类型	视　　图	剖视图	示意图
圆柱螺旋拉伸弹簧			
圆柱螺旋扭转弹簧			

2. 碟形弹簧画法（表 3-9）

表 3-9　碟形弹簧画法

视　　图	剖　视　图	示　意　图

3. 平面涡卷弹簧的画法（表 3-10）

表 3-10　平面涡卷弹簧的画法

视　　图	示　意　图

4. 板弹簧画法

弓形板弹簧由多种零件组成，其画法如图 3-1 所示。

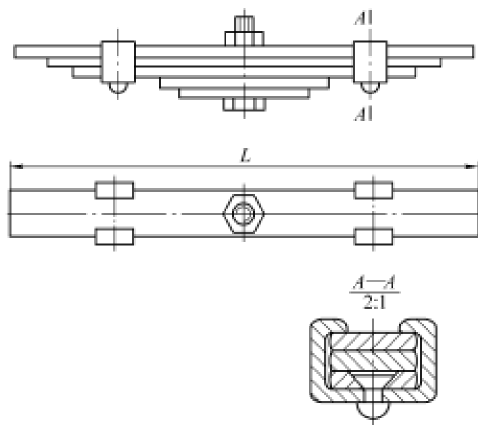


图 3-1　弓形板弹簧画法图例

5. 装配图中弹簧的画法（表 3-11）

表 3-11　装配图中弹簧的画法

规定说明	图　　例
被弹簧挡住的结构一般不画出，可见部分应从弹簧的外轮廓线或从弹簧钢丝剖面的中心线画起	
型材直径或厚度在图形上≤2mm 的螺旋弹簧、碟形弹簧、片弹簧允许用示意图绘制（图 a） 当弹簧被剖切时，剖面直径或厚度在图形上≤2mm 时也可用涂黑表示（图 b） 四束以上的碟形弹簧，中间部分省略后用细实线画出轮廓范围（图 c）	a) b) c)

（续）

规定说明	图　　例
板弹簧允许仅画出外形轮廓	
平面涡卷弹簧的装配图画法见图例	

3.5　中心孔表示法（GB/T 4459.5—1999）

1. 中心孔符号（表3-12）

表3-12　中心孔符号

符　　号	说　　明
	在完工的零件上要求保留中心孔

（续）

符　　号	说　　明
	在完工的零件上可以保留中心孔
	在完工的零件上不允许保留中心孔

2. 中心孔在图样上的标注（表 3-13）

表 3-13　中心孔在图样上的标注

标注示例	说　　明
GB/T 4459.5−B3.15/10	采用 B 型中心孔 $D=3.15$mm，$D_1=10$mm 在完工的零件上要求保留中心孔
GB/T 4459.5−A4/8.5	采用 A 型中心孔 $D=4$mm，$D_1=8.5$mm 在完工的零件上是否保留中心孔都可以

（续）

标注示例	说　　明
GB/T 4459.5-A1.6/3.35	采用 A 型中心孔 D=1.6mm，D_1=3.35mm 在完工的零件上不允许保留中心孔
B3.15/10 GB/T 4459.5 A4/8.5 GB/T 4459.5	需指明中心孔的标准代号，也可标注在中心孔型号的下方
D GB/T 4459.5-B1/3.15	以中心孔轴线为基准时，基准代号的标注方法
GB/T 4459.5 2×B2/63 D	中心孔工作表面的表面粗糙度应标注在引线上
2× B3.15/10	同一个轴两端的中心孔相同，在一端标出并注出数量 在不致引起误解时，可省略标记中的标准编号

3.6 滚动轴承表示法（GB/T 4459.7—1998）

1. 基本规定（表3-14）

表3-14 基本规定

要素	规定内容	图例
图线	表示滚动轴承时，通用画法、特征画法及规定画法中的各种符号、矩形线框和轮廓线均用粗实线绘制	a) b) 1—圆柱滚子轴承 2—斜挡圈
尺寸及比例	绘制滚动轴承时，其矩形线框或外形轮廓的大小应与滚动轴承的外形尺寸一致，并与所属图样采用同一比例。通用画法的尺寸比例如图3-2所示，特征画法及规定画法的尺寸比例见表3-15	

（续）

要素	规定内容	图例
剖面符号	在剖视图中，用简化画法绘制滚动轴承时，一律不画剖面符号；采用规定画法绘制剖视图时，轴承的滚动体不画剖面线，其各套圈可画成方向和间隔相同的剖面线，在不致引起误解时，也允许省略不画。若轴承带有其他零件或附件（偏心套、紧定套、挡圈等）时，其剖面线应与套圈的剖面线呈不同方向或不同间隔。在不致引起误解时，也允许省略不画	 1—圆柱滚子轴承 2—斜挡圈

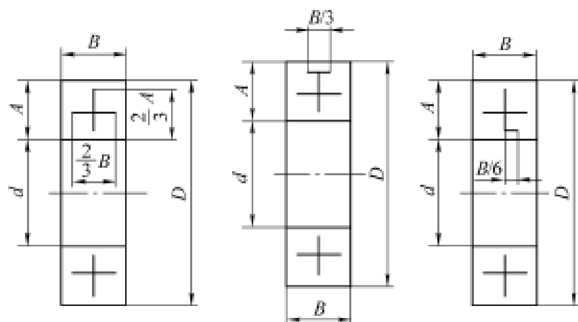


图 3-2　通用画法的尺寸比例示例

表 3-15　特征画法及规定画法的尺寸比例示例

序号	特征画法	规定画法
1		

（续）

序号	特征画法	规定画法
1		
2		

（续）

序号	特征画法	规定画法
3		
4		

（续）

序号	特征画法	规定画法
4		
5		

（续）

序号	特征画法	规定画法
5		
6		

（续）

序号	特征画法	规定画法
7		
8		

（续）

序号	特征画法	规定画法
9		
10		

2. 简化画法

用简化画法绘制滚动轴承时，应采用通用画法或特征

画法，但在同一图样中一般只采用其中一种画法。

（1）通用画法　滚动轴承的通用画法见表3-16。

表3-16　滚动轴承的通用画法

规定说明	图例
在剖视图中，当不需要确切地表示滚动轴承的外形轮廓、载荷特性、结构特征时，可用矩形线框及位于线框中央正立的十字形符号表示。十字符号不应与矩形线框接触（图a） 通用画法应绘制在轴的两侧（图b）	a)　b)
如需确切地表示滚动轴承的外形，则应画出其剖面轮廓，并在轮廓中央画出正立的十字形符号。十字符号不应与剖面轮廓线接触	
滚动轴承带有附件或零件时，则这些附件或零件也可只画出其外形轮廓	1 2 1—外球面球轴承 2—紧定套

（续）

规定说明	图例
滚动轴承的防尘盖和密封圈的表示	a) 一面带防尘盖　b) 两面带密封圈
需要表示滚动轴承内圈和外圈有、无挡边时，可在十字符号上附加一短画表示内圈或外圈无挡边的方向	a) 外圈无挡边　b) 内圈有单挡边
装配图中，为了表达滚动轴承的安装方法，可画出滚动轴承的某些零件	

（2）特征画法

1）在剖视图中，如需较形象地表示滚动轴承的结构特征，可采用在矩形线框内画出其结构要素符号的方法表示。特征画法应绘制在轴的两侧。

① 滚动轴承的结构要素符号见表 3-17。

表 3-17　滚动轴承的结构要素符号

要素符号	说明	应用
①	长的粗实线	表示不可调心轴承的滚动体的滚动轴线
①	长的粗圆弧线	表示可调心轴承的调心表面或滚动体滚动轴线的包络线
在规定画法中，可用以下符号代替短的粗实线：	短的粗实线，与上两种要素符号相交成90°角（或相交于法线方向），并通过每个滚动体的中心	表示滚动体的列数和位置
	圆	球
	宽矩形	圆柱滚子
	长矩形	长圆柱滚子、滚针

①　根据轴承的类型，可以倾斜画出。

② 滚动轴承的结构特征和载荷特性要素符号见表3-18。

表 3-18　滚动轴承的结构特征和载荷特性要素符号

轴承承载特性		轴承结构特征			
		两个套圈		三个套圈	
		单列	双列	单列	双列
径向承载	不可调心				
	可调心				
轴向承载	不可调心				
	可调心				
径向和轴向承载	不可调心				
	可调心				

注：表中的滚动轴承只画出了轴线一侧的部分。

③ 滚动轴承的特征画法及其应用见表 3-19 ~ 表 3-22。

表 3-19　球轴承和滚子轴承的特征画法及规定画法

特征画法	规定画法	
	球轴承	滚子轴承
	GB/T 276	GB/T 283
		GB/T 285
	GB/T 281	GB/T 288
	GB/T 292	GB/T 297

（续）

特征画法	规定画法	
	球轴承	滚子轴承
	GB/T 294(三点接触)	
	GB/T 294(四点接触)	
	GB/T 296	
		GB/T 299

表 3-20　滚针轴承的特征及规定画法

特征画法	规定画法
	GB/T 5801 JB/T 3588 GB/T 290 GB/T 7918
	GB/T 5801 GB/T 5801 GB/T 7918
	GB/T 6445.1

表 3-21　组合轴承的特征画法及规定画法

特征画法	规定画法	特征画法	规定画法
	JB/T 3123		JB/T 3122
	JB/T 3123		JB/T 16643

表 3-22　推力轴承的特征画法及规定画法

特征画法	规定画法	
	球轴承	滚子轴承
	GB/T 300	GB/T 4663 JB/T 7915
	GB/T 301	
	JB/T 6362	

（续）

特征画法	规定画法	
	球轴承	滚子轴承
	GB/T 301	
	GB/T 301	
		GB/T 5859

2）在垂直于滚动轴承轴线的投影面的视图上，无论滚动体的形状（球、柱、针等）及尺寸如何，均可按图 3-3 所示的方法绘制。

3）通用画法中有关滚动轴承带有附件或零件，表示防尘盖和密封圈，表示内圈或外圈有、无挡边时，以及装配图的表示方法的规定也适用于特征画法。

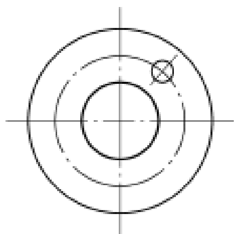


图 3-3　轴线垂直于投影面的特征画法

3. 规定画法

1）必要时，在滚动轴承的产品图样、产品样本、产品标准、用户手册和使用说明书中可采用表 3-19 ~ 表 3-22 中的规定画法绘制滚动轴承。

2）在装配图中，滚动轴承的保持架及倒角等可省略不画。

3）规定画法一般绘制在轴的一侧，另一侧按通用画法绘制。

4. 应用示例

滚动轴承表示法在装配图中的应用示例如图 3-4 ~ 图 3-7 所示。

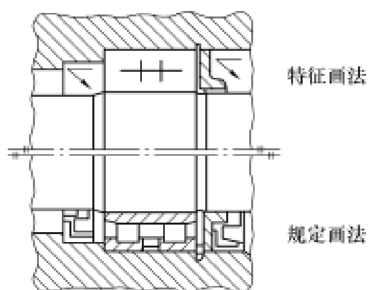


图 3-4　双列圆柱滚子轴承在装配图中的画法

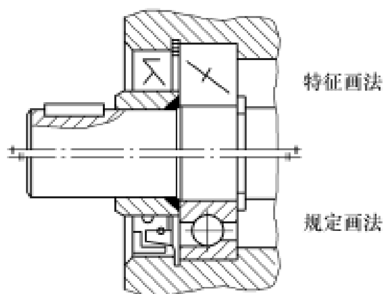


图 3-5　角接触球轴承在装配图中的画法

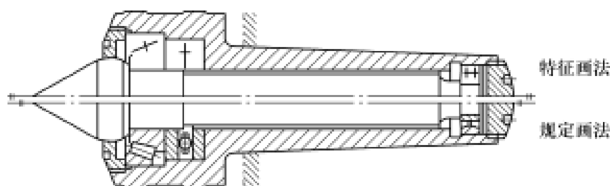


图 3-6　圆锥滚子轴承、推力球轴承和双列深沟球轴承在装配图中的画法

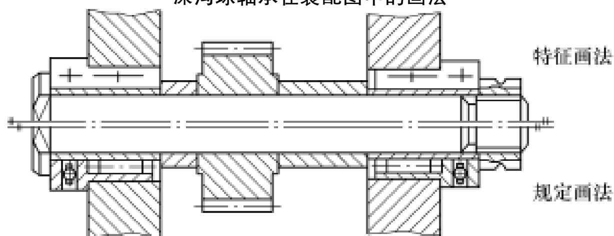


图 3-7　组合轴承在装配图中的画法

3.7　动密封圈表示法（GB/T 4459.6—1996）

1. 基本规定（表 3-23）

表 3-23　动密封圈基本规定

要素	规定	图例
图线	绘制密封圈时，通用画法和特征画法及规定画法中的各种符号、矩形线框和轮廓线均用粗实线绘制	

（续）

要素	规定	图例
尺寸及比例	用简化画法绘制的密封圈，其矩形线框和轮廓应与有关标准规定的密封圈尺寸及其安装沟槽尺寸协调一致，并与所属图样采用同一比例绘制	
剖面符号	在剖视图和断面图中，用简化画法绘制的密封圈一律不画剖面符号；用规定画法绘制密封圈时，仅在金属骨架等嵌入元件上画出剖面符号或涂黑	

2. 简化画法

用简化画法绘制动密封圈时，可采用通用画法或特征画法。在同一张图样中一般只采用一种画法。

（1）通用画法　动密封圈通用画法见表 3-24。

（2）特征画法　在剖视图中，如需比较形象地表示出密封圈的密封结构特征时，可采用在矩形线框的中间画出密封要素符号的方法表示。动密封圈特征画法中的密封要素符号见表 3-25。特征画法应绘制在轴的两侧。

旋转轴唇形密封圈、往复运动橡胶密封圈、迷宫式密封件的特征画法和规定画法分别见表 3-26 ~ 表 3-28。

表 3-24　动密封圈通用画法

规定说明	图例	规定说明	图例
在剖视图中，如不需要确切地表示密封圈的外形轮廓和内部结构，可采用在矩形线框的中央画出十字交叉的对角线符号的方法表示。交叉线符号不应与矩形线框的轮廓线接触		如需要确切地表示密封圈的外形轮廓，则应画出其较详细的剖面轮廓，并在其中央画出对角线符号	
如需要表示密封的方向，则应在对角线符号的一端画出一个箭头，指向密封的一侧		通用画法应绘制在轴的两侧	

表 3-25　动密封圈特征画法中的密封要素符号

要素符号	说明	应用	要素符号	说明	应用
—	长的粗实线（平行于密封表面的母线）	表示静态密封要素（密封圈和防尘圈上具有静态密封功能的部分）	>	短的粗实线（与相应的轮廓线成 30°）	表示往复运动的动态密封要素（密封圈和防尘圈上具有动态密封功能的唇）。与后边的要素符号组合使用
<	长的粗实线①（与相应的轮廓线成 45°）	表示动态密封要素（密封圈和防尘圈上具有动态密封功能的唇以及有防尘、除尘功能的结构）。与前边的要素符号组合使用，倾斜方向应与工作介质流动的方向相逆	∟	短的粗实线（与相应的轮廓线平行，由矩形线框的中心画出）	表示往复运动的静态密封要素（密封圈和防尘圈上具有静态密封功能的部分）
>	短的粗实线（与前边的要素符号成 90°）	表示有防尘和防尘功能的副唇。与前边的要素符号组合使用	T	粗实线 T 形（凸起）	T 形、U 形组合使用，表示非接触密封。例如迷宫式密封
			⊔	粗实线 U 形（凹入）	

① 必要时，可附加一个表示密封方向的箭头。

表 3-26　旋转轴唇形密封圈的特征画法和规定画法

特征画法		应用	规定画法
轴用		主要用于旋转轴唇形密封圈，也可用于往复运动活塞杆唇形密封圈及结构类似的防尘圈	GB/T 9877.1，B型 GB/T 9877.2，W型 GB/T 9877.2，Z型

（续）

特征画法		应用	规定画法
孔用		主要用于旋转轴唇形密封圈，也可用于往复运动活塞杆唇形密封圈及结构类似的防尘圈	

（续）

特征画法		应用	规定画法
轴用		主要用于有副唇的旋转轴唇形密封圈，也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈	GB/T 9877.1，FB型 GB/T 9877.2，FW型 GB/T 9877.3，FZ型

（续）

特征画法		应用	规定画法
孔用		主要用于有副唇的旋转轴唇形密封圈，也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈	

（续）

特征画法		应用	规定画法
轴用		主要用于双向密封旋转轴唇形密封圈，也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈	
孔用			

表 3-27　往复运动橡胶密封圈的特征画法和规定画法

特征画法	应用	规定画法		
	用于 Y 形、U 形及蕾形橡胶密封圈	JB/T 6375 Y形	GB/T 10708.1 Y形	GB/T 10708.1 蕾形
	用于 V 形橡胶密封圈	GB/T 10708.1，V形		

（续）

特征画法	应用	规定画法
	用于 J 形橡胶密封圈	
	用于高低唇 Y 形橡胶密封圈（孔用）和橡胶防尘密封圈	GB/T 10708.1，Y形　JB/T 6375，Y形
	用于起端面密封和防尘功能的 V_D 形橡胶密封圈	JB/T 6994，S型、A型

（续）

特征画法	应用	规定画法
	用于高低唇Y形橡胶密封圈（轴用）和橡胶防尘密封圈	GB/T 10708.1，Y形　JB/T 6375，Y形 GB/T 10708.3，A型　GB/T 10708.3，B型

（续）

特征画法	应用	规定画法
	用于双向唇的橡胶防尘密封圈，也可用于结构类似的防尘密封圈（轴用）	GB/T 10708.3，C型

（续）

特征画法	应用	规定画法
	用于有双向唇的橡胶防尘密封圈，也可用于结构类似的防尘密封圈（孔用）	
	用于鼓形橡胶密封圈和山形橡胶密封圈	GB/T 10708.2,鼓形　GB/T 10708.2,山形

表 3-28　迷宫式密封的特征画法和规定画法

特征画法	应用	规定画法
	非接触密封的迷宫式密封	

3. 规定画法

必要时，可在密封圈的产品图样、产品样本、用户手册和使用说明书等中采用表 3-26 ~ 表 3-28 中的规定画法绘制密封圈。这种画法可绘制在轴的两侧，也可绘制在轴的一侧，另一侧按通用画法绘制。

4. 应用举例（图 3-8 ~ 图 3-13）

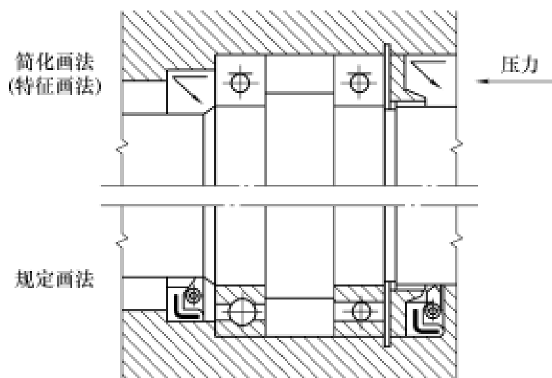


图 3-8　旋转轴唇形密封圈的应用

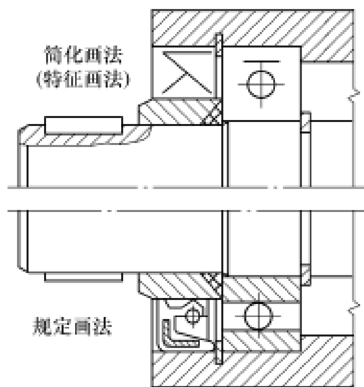


图 3-9　带副唇的旋转轴唇形密封圈的应用

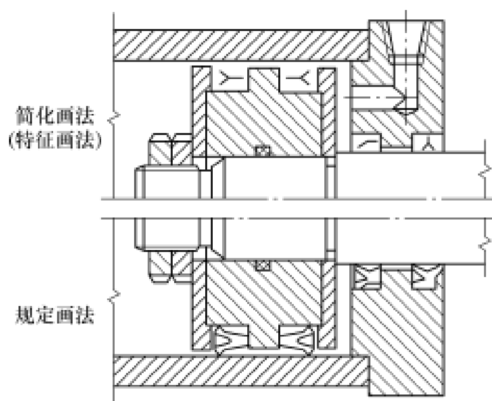


图 3-10　Y 形橡胶密封圈、橡胶防尘圈的应用

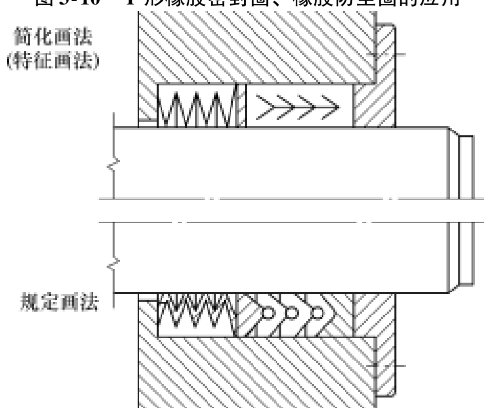


图 3-11　V 形橡胶密封圈的应用

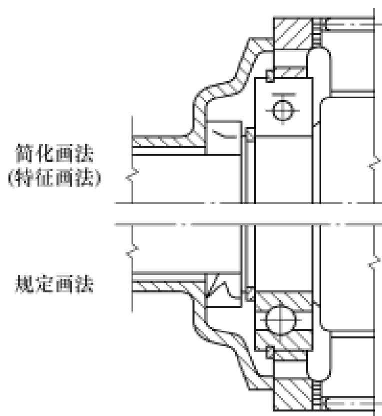


图 3-12　橡胶防尘圈的应用

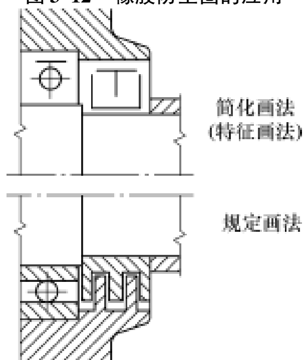


图 3-13　迷宫式密封的应用

第 4 章　常用材料及应用

4.1　常用钢的品种及应用

4.1.1　结构钢

1. 碳素结构钢（表 4-1）

表 4-1　碳素结构钢牌号和应用

牌号	应用举例
Q195	用于制造地脚螺栓、犁铧、烟筒、屋面板、铆钉、低碳钢丝、薄板、焊管、拉杆、吊钩、支架、焊接结构
Q215	
Q235	广泛用于一般要求的零件和焊接结构，如受力不大的拉杆、连杆、销、轴、螺钉、螺母、套圈、支架、机座、建筑结构、桥梁等
Q275	用于制造要求 强度较高的零件，如齿轮、轴、链轮、键、螺栓、螺母、农机用型钢、输送链和链节

2. 优质碳素结构钢（表 4-2、表 4-3）

表 4-2　优质碳素结构钢牌号和应用

牌号	应用举例
08F	宜轧制成薄板、薄带、冷变型材、冷拉钢丝 用作冲压件,压延件,各类不承受载荷的覆盖件,渗碳、渗氮、碳氮共渗件,制作各类套筒、靠模、支架
08	宜轧制成薄板、薄带、冷变型材，冷拉、冷冲压、焊接件，表面硬化件

（续）

牌号	应用举例
10F 10	宜用于冷轧、冷冲、冷镦、冷弯、热轧、热挤压、热镦等工艺成形，制造要求受力不大、韧性高的零件，如摩擦片、深冲器皿、汽车车身、弹体等
15F 15	制造受力不大、形状简单，但韧性要求较高或焊接性能较好的中小结构件、螺钉、螺栓、拉杆、起重钩、焊接容器等
20	制作不太重要的中小型渗碳件、碳氮共渗件、锻压件，如杠杆轴、变速器变速叉、齿轮、重型机械拉杆、钩环等
25	焊接件、热锻件、热冲压件渗碳后用作耐磨件
30	用于受力不大、温度＜150℃的低载荷零件，如丝杠、拉杆、轴键、齿轮、轴套筒等，渗碳件表面耐磨性好，可作耐磨件
35	适于制造小断面、可承受较大载荷的零件，如曲轴、杠杆、连杆、钩环等，以及各种标准件、紧固件
40	适于制造曲轴心轴、传动轴、活塞杆、连杆、链轮、齿轮等，作焊接件时需先预热，焊后缓冷
45	主要用于制造强度高的运动件，如涡轮机叶轮、压缩机活塞、轴、齿轮、齿条、蜗杆等。焊接件注意焊前预热，焊后消除应力退火
50	锻造齿轮、拉杆、轧辊、轴摩擦盘、机床主轴、发动机曲轴、农业机械犁铧、重载荷心轴及各种轴类零件等，以及较次要的减振弹簧、弹簧垫圈等

（续）

牌号	应用举例
55	齿轮、连杆、轮圈、轮缘、机车轮箍、扁弹簧、热轧轧辊等
60	轧辊、轴类、轮箍、弹簧圈、减振弹簧、离合器、钢丝绳
65	宜用于制造断面形状简单、受力小的扁形或螺形弹簧零件，如汽门弹簧、弹簧环等，也宜用于制造高耐磨性零件，如轧辊、曲轴、凸轮及钢丝绳等
70	弹簧、钢丝、钢带、车轮圈等
75 80	板弹簧、螺旋弹簧、抗磨损零件、较低速车轮等
85	铁道车辆、扁形板弹簧、圆形螺旋弹簧、钢丝、钢带等
15Mn	齿轮、曲柄轴，支架、铰链、螺钉、螺母，铆焊结构件，板材适于制造油罐等，寒冷地区农具等
20Mn	与15Mn钢基本相同
25Mn	与20Mn及25钢相近
30Mn	螺栓、螺母、螺钉、拉杆、杠杆、小轴、齿轮
35Mn	转轴、啮合杆、螺栓、螺母、螺钉等，心轴、齿轮等
40Mn	耐疲劳件、曲轴、辊子、轴、连杆，高应力下工作的螺钉、螺母等

（续）

牌号	应用举例
45Mn	转轴、心轴、花键轴、汽车半轴、万向接头轴、曲轴、连杆、制动杠杆、啮合杆、齿轮、离合器、螺栓、螺母等
50Mn	用作承受高应力零件、高耐磨零件，如齿轮、齿轮轴、摩擦盘、心轴、平板弹簧等
60Mn	大尺寸螺旋弹簧、板簧、各种圆扁弹簧，弹簧环、片，冷拉钢丝及发条
65Mn	受中等载荷的板弹簧，直径达 7～20mm 的螺旋弹簧及弹簧垫圈、弹簧环。高耐磨性零件，如磨床主轴、弹簧夹头、精密机床丝杠、犁、切刀、螺旋辊子轴承上的套环、铁道钢轨等
70Mn	承受大应力、磨损条件下工作的零件，如各种弹簧圈、弹簧垫圈、止推环、锁紧圈、离合器盘等

表 4-3 优质碳素结构钢推荐热处理参数

牌号	试样毛坯尺寸/mm	热处理温度/℃			钢材交货状态硬度 HBW10/3000 ≤	
		正火	淬火	回火	未热处理钢	退火钢
08F	25	930	—	—	131	—
10F	25	930	—	—	137	—
15F	25	920	—	—	143	—
08	25	930	—	—	131	—

（续）

牌号	试样毛坯尺寸/mm	热处理温度/℃			钢材交货状态硬度 HBW10/3000 ≤	
		正火	淬火	回火	未热处理钢	退火钢
10	25	930	—	—	137	—
15	25	920	—	—	143	—
20	25	910	—	—	156	—
25	25	900	870	600	170	—
30	25	880	860	600	179	—
35	25	870	850	600	197	—
40	25	860	840	600	217	187
45	25	850	840	600	229	197
50	25	830	830	600	241	207
55	25	820	820	600	255	217
60	25	810	—	—	255	229
65	25	810	—	—	255	229
70	25	790	—	—	269	229
75	试样	—	820	480	285	241
80	试样	—	820	480	285	241
85	试样	—	820	480	302	255
15Mn	25	920	—	—	163	—
20Mn	25	910	—	—	197	—
25Mn	25	900	870	600	207	—
30Mn	25	880	860	600	217	187
35Mn	25	870	850	600	229	197
40Mn	25	860	840	600	229	207

（续）

牌号	试样毛坯尺寸/mm	热处理温度/℃			钢材交货状态硬度 HBW10/3000 ≤	
		正火	淬火	回火	未热处理钢	退火钢
45Mn	25	850	840	600	241	217
50Mn	25	830	830	600	255	217
60Mn	25	810	—	—	269	229
65Mn	25	830	—	—	285	229
70Mn	25	790	—	—	285	229

注：1. 对于直径或厚度小于25mm的钢材，热处理是在与成品断面尺寸相同的试样毛坯上进行的。

2. 表中所列正火推荐保温时间不少于30min，空冷；淬火推荐保温时间不少于30min，70、80和85钢油冷，其余钢水冷；回火推荐保温时间不少于1h。

3. 低合金高强度结构钢（表4-4、表4-5）

表4-4　低合金高强度结构钢牌号和应用

牌号	应用举例
Q345 Q390	船舶、锅炉、压力容器、石油储罐、桥梁、电站设备、起重运动机械及其他较高载荷的焊接结构件
Q420	大型船舶，桥梁，电站设备，中、高压锅炉，高压容器，机车车辆，起重机械，矿山机械及其他大型焊接结构件
Q460	备用钢种，用于各种大型工程结构及要求强度高、载荷大的轻型结构

表 4-5　新旧低合金钢的标准牌号对照

新标准 GB/T 1591—2008	旧标准 GB 1591—1988
Q345	18Nb、09MnCuPTi、10MnSiCu、12MnV、14MnNb、16Mn、16MnRE
Q390	10MnPNbRE、15MnV、15MnTi、16MnNb
Q420	14MnVTiRE、15MnVN
Q460	—

注：旧标准中尾数 b 为半镇静钢。

4. 合金结构钢（表 4-6、表 4-7）

表 4-6　合金结构钢牌号和应用

牌号	应用举例
20Mn2	用于制造断面尺寸小于 50mm 的渗碳零件，如渗碳的小齿轮、小轴、力学性能要求不高的十字头销、活塞销、柴油机套筒、气门顶杆、变速齿轮操纵杆、钢套，热轧及正火状态下用于制造螺栓、螺钉、螺母及铆焊件等
30Mn2	用于制造汽车、拖拉机中的车架、纵横梁、变速器齿轮、轴、冷镦螺栓、较大断面的调质件，也可制造心部强度较高的渗碳件，如起重机的后车轴等
35Mn2	制造直径小于 20mm 的较小零件时，可代替 40Cr，用于制造直径小于 15mm 的各种冷镦螺栓，力学性能要求较高的小轴、轴套、小连杆、操纵杆、曲轴、风机配件，农机中的锄铲柄、锄铲
40Mn2	用于制造重载工作的各种机械零件，如曲轴、车轴、轴、半轴、杠杆、连杆、操纵杆、蜗杆、活塞杆，承载的螺栓、螺钉、加固环、弹簧；当制造直径小于 40mm 的零件时，其静强度及疲劳性能与 40Cr 相近，因而可代替 40Cr 制作小直径的重要零件

（续）

牌号	应 用 举 例
45Mn2	用于制造承受高应力和耐磨损的零件，如果制作直径小于60mm的零件，可代替40Cr使用；在汽车、拖拉机及通用机械中，常用于制造轴、车轴、万向接头轴、蜗杆、齿轮轴、齿轮、连杆盖、摩擦盘、车厢轴、电车和蒸汽机车轴、重载机架、冷拉状态中的螺栓和螺母等
50Mn2	用于制造高应力、高磨损工作条件下的大型零件，如通用机械中的齿轮轴、曲轴、各种轴、连杆、蜗杆、万向接头轴、齿轮等，汽车的传动轴、花键轴，承受强烈冲击载荷的心轴，重型机械中的滚动轴承支撑的主轴、轴及大型齿轮以及用于制造手卷簧、板弹簧等；如果用于制作直径小于80mm的零件，可代替45Cr使用
20MnV	用于制造高压容器、锅炉、大型高压管道等的焊接构件（工作温度不超过450～475℃）；还用于制造冷轧、冷拉、冷冲压加工的零件，如齿轮、自行车链条、活塞销等；还广泛用于制造直径小于20mm的矿用链环
27SiMn	用于制造高韧性、高耐磨性的热冲压件，不需热处理或正火状态下使用的零件，如拖拉机履带销
35SiMn	在调质状态下用于制造中速、中载的零件；在淬火回火状态下用于制造重载、小冲击振动的零件以及制作断面较大、表面淬火的零件，如汽轮机的主轴和轮毂（直径小于250mm，工作温度小于400℃）、叶轮（厚度小于170mm）以及各种重要紧固件，通用机械中的传动轴、主轴、心轴、连杆、齿轮、蜗杆、电车轴、发电机轴、曲轴、飞轮及各种锻件，农机中的锄铲柄、犁辕等耐磨件，另外还可制作薄壁无缝钢管

（续）

牌号	应用举例
42SiMn	在高频感应加热淬火中及中温回火状态下，用于制造中速、中载的齿轮传动件；在调质后高频感应淬火、低温回火状态下，用于制造较大断面的表面高硬度、较高耐磨性的零件，如齿轮、主轴、轴等；在淬火后低、中温回火状态下，用于制造中速、重载的零件，如主轴、齿轮、液压泵转子、滑块等
20SiMn2MoV	在低温回火状态下可代替调质状态下使用的35CrMo、35CrNi3MoA、40CrNiMoA等中碳合金结构钢使用，用于制造较重载荷、应力状况复杂或低温下长期工作的零件，如石油机械中的吊卡、吊环、射孔器以及其他较大断面的连接件
25SiMn2MoV	用途和20SiMn2MoV基本相同。用该钢制成的石油钻机吊环等零件，使用性能良好，比35CrNi3Mo和40CrNiMo制作的同类零件更安全可靠，且自重小，节省材料
37SiMn2MoV	调质处理后，用于制造重载、大断面的重要零件，如重型机器中的齿轮、轴、连杆、转子、高压无缝钢管等，石油化工用的高压容器及大螺栓，制作高温条件下的大螺栓紧固件（工作温度低于450℃）；淬火低温回火后可作为超高强度钢使用，可代替35CrMo、40CrNiMo使用
40B	用于制造比40钢截面大、性能要求高的零件，如轴、拉杆、齿轮、凸轮、拖拉机曲轴等；制作小断面尺寸零件，可代替40Cr使用

（续）

牌号	应 用 举 例
45B	用于制造断面较大、强度要求较高的零件，如拖拉机的连杆、曲轴及其他零件；制造小尺寸且性能要求不高的零件，可代替 40Cr 使用
50B	用于代替 50、50Mn、50Mn2 制造强度较高、淬透性较高、断面尺寸不大的各种零件，如凸轮、轴、齿轮、转向拉杆等
40MnB	用于制造拖拉机、汽车及其他通用机器设备中的中小重要调质零件，如汽车半轴、转向轴、花键轴、蜗杆和机床主轴、齿轴等；可代替 40Cr 制造较大断面的零件，如卷扬机中轴，制造小尺寸零件时，可代替 40CrNi 使用
45MnB	用于代替 40Cr、45Cr 和 45Mn2 制造中、小断面的耐磨调质件及高频感应加热淬火件，如钻床主轴、拖拉机拐轴、机床齿轮、凸轮、花键轴、曲轴、惰轮、左右分离叉、轴套等
15MnVB	采用淬火＋低温回火，用以制造高强度的重要螺栓零件，如汽车上的气缸盖螺栓、半轴螺栓、连杆螺栓；也可用于制造中等载荷的渗碳零件
20MnVB	常用于制造较重载荷的中小渗碳零件，如重型机床上的轴、大模数齿轮、汽车后桥的主动及从动齿轮
40MnVB	常用于代替 40Cr、45Cr 及 38CrSi，制造低温回火、中温回火及高温回火状态的零件；还可代替 42CrMo、40CrNi 制造重要调质件，如机床和汽车上的齿轮、轴等
20MnTiB	较多地用于制造汽车、拖拉机中尺寸较小、中等载荷的各种齿轮及渗碳零件，可代替 20CrMnTi 使用

（续）

牌号	应 用 举 例
25MnTiBRE	常用以代替 20CrMnTi、20CrMo 使用，用于制造中等载荷的拖拉机齿轮（渗碳）、推土机和中、小汽车变速器齿轮和轴等渗碳、碳氮共渗零件
15Cr	用于制造表面耐磨、心部强度和韧性较高、较高工作速度但断面尺寸在 30mm 以下的各种渗碳零件，如曲柄销、活塞销、活塞环、联轴器、小凸轮轴、小齿轮、滑阀、活塞、衬套、轴承圈、螺钉、铆钉等；还可以用作淬火钢，制造要求一定强度和韧性，但变形要求较宽的小型零件
20Cr	用于制造小断面（小于 30mm）、形状简单、较高转速、载荷较小、表面耐磨、心部强度较高的各种渗碳或碳氮共渗零件，如小齿轮、小轴、阀、活塞销、衬套棘轮、托盘、凸轮、蜗杆、牙形离合器等；对热处理变形小、耐磨性要求高的零件，渗碳后应进行一般淬火或高频感应淬火，如小模数（小于 3mm）齿轮、花键轴、轴等，也可作调质钢用于制造低速、中等载荷（冲击）的零件
30Cr	用于制造耐磨或受冲击的各种零件，如齿轮、滚子、轴、杠杆、摇杆、连杆、螺栓、螺母等；还可用作高频感应淬火用钢，制造耐磨、表面高硬度的零件
35Cr	用于制造齿轮、轴、滚子、螺栓以及其他重要调质件，用途和 30Cr 基本相同

（续）

牌号	应 用 举 例
40Cr	使用最广泛的钢种之一，调质处理后用于制造中速、中等载荷的零件，如机床齿轮、轴、蜗杆、花键轴、顶尖套等；调质并高频感应淬火后用于制造表面高硬度、耐磨的零件，如齿轮、轴、主轴、曲轴、心轴、套筒、销子、连杆、螺杆、螺母、进气阀等；经淬火及中温回火后用于制造重载、中速冲击的零件，如液压泵转子、滑块、齿轮、主轴、套环等；经淬火及低温回火后用于制造重载、低冲击、耐磨的零件，如蜗杆、主轴、轴、套环等；碳氮共渗处理后制造尺寸较大、低温冲击韧度较高的传动零件，如轴、齿轮等。40Cr 的代用钢有 40MnB、45MnB、35SiMn、42SiMn、40MnVB、42MnV、40MnMoB、40MnWB 等
45Cr	与 40Cr 的用途相似，主要用于制造高频感应淬火的轴、齿轮、套筒、销子等
50Cr	用于制造重载、耐磨的零件，如 600mm 以下的热轧辊、传动轴、齿轮、止推环，支承辊的心轴、柴油机连杆和挺杆，拖拉机离合器、螺栓，重型矿山机械中耐磨、高强度的油膜轴承套、齿轮；也可用于制造高频感应淬火零件、中等弹性的弹簧等
38CrSi	一般用于制造直径 30～40mm、强度和耐磨性要求较高的各种零件，如拖拉机、汽车等机器设备中的小模数齿轮、拨叉轴、履带轴、小轴、起重钩、螺栓、进气阀、铆钉机压头等

（续）

牌号	应 用 举 例
12CrMo	正火回火后用于制造蒸汽温度 510℃的锅炉及汽轮机的主汽管，管壁温度不超过 540℃的各种导管、过热器管，淬火回火后还可制造各种高温弹性零件
15CrMo	正火及高温回火后用于制造蒸汽温度至 510℃的锅炉过热器、中高压蒸汽导管及联箱，蒸汽温度至 510℃的主汽管；淬火 + 回火后，可用于制造常温工作的各种重要零件
20CrMo	用于制造化工设备中非腐蚀介质及工作温度 250℃以下，氮氢介质的高压管和各种紧固件，汽轮机、锅炉中的叶片、隔板、锻件、轧制型材，一般机器中的齿轮、轴等重要渗碳零件；还可以替代 12Cr13 钢使用，制造中压、低压汽轮机处在过热蒸汽区压力级工作叶片
30CrMo	用于制造工作温度 400℃以下的导管，锅炉、汽轮机中工作温度低于 450℃的紧固件，工作温度低于 500℃、高压用的螺母及法兰，通用机械中受载荷大的主轴、齿轮、螺栓、螺柱、操纵轮，化工设备中低于 250℃、氮氢介质中工作的高压导管以及焊接件
35CrMo	用于制造承受冲击、弯扭、重载的各种机器中的重要零件，如轧钢机人字齿轮、曲轴、锤杆、连杆、紧固件，汽轮发动机主轴、车轴，发动机传动零件，大型电动机轴，石油机械中的穿孔器，工作温度低于 400℃的锅炉用螺栓，低于 510℃的螺母，化工机械中高压无缝厚壁的导管（温度450～500℃，无腐蚀性介质）等，还可代替 40CrNi 用于制造高载荷传动轴、汽轮发电机转子、大断面齿轮、支承轴（直径小于 500mm）等

（续）

牌号	应 用 举 例
42CrMo	一般用于制造比35CrMo强度要求更高、断面尺寸较大的重要零件，如轴、齿轮、连杆、变速器齿轮、增压器齿轮、发动机气缸、弹簧、弹簧夹、1200～2000mm石油钻杆接头、打捞工具以及代替含镍较高的调质钢使用
12CrMoV	用于制造汽轮机温度540℃的主汽管道、转向导叶环、隔板以及温度小于或等于570℃的各种过热器、导管等
35CrMoV	用于制造高应力下的重要零件，如500～520℃以下工作的汽轮机叶轮、高级涡轮鼓风机和压缩机的转子、盖盘、轴盘、发电机轴、强力发动机的零件等
12Cr1MoV	用于制造工作温度不超过570～585℃的高压设备中的过热钢管、导管、散热器管及有关的锻件
25Cr2MnVA	用于制造高温条件下的螺母（小于或等于550℃）、螺栓、螺柱（小于530℃），长期工作温度在510℃左右的紧固件，汽轮机整体转子、套筒、主汽阀、调节阀；还可作为渗氮钢，用以制作阀杆、齿轮等
38CrMoAl	用于制造高疲劳强度、高耐磨性、热处理后尺寸精确、强度较高的各种尺寸不大的渗氮零件，如气缸套、座套、底盖、活塞螺栓、检验规、精密磨床主轴、车床主轴、镗杆、精密丝杠和齿轮、蜗杆、高压阀门、阀杆、仿模、滚子、样板、汽轮机的调速器、转动套、固定套、塑料挤压机上的一些耐磨零件

（续）

牌号	应用举例
40CrV	用于制造变载、重载的各种重要零件，如机车连杆、曲轴、推杆、螺旋桨、横梁、轴套支架、双头螺柱、螺钉、不渗碳齿轮、经渗氮处理的各种齿轮和销子、高压锅炉水泵轴（直径小于30mm）、高压气缸、钢管以及螺栓（工作温度小于420℃，30MPa）等
50CrVA	用于制造工作温度低于210℃的各种弹簧以及其他机械零件，如内燃机气门弹簧、喷油嘴弹簧、锅炉安全阀弹簧、轿车缓冲弹簧
15CrMn	制造齿轮、蜗轮、塑料模具、汽轮机油封和汽轴套等
20CrMn	用于制造重载大断面的调质零件及小断面的渗碳零件；制造中等载荷、冲击较小的中小零件时，可代替20CrNi使用，如齿轮、轴、摩擦轮、蜗杆调速器的套筒等
40CrMn	制造在高速和高弯曲载荷工作条件下泵的轴和连杆、无强力冲击载荷的齿轮泵、水泵转子、离合器、高压容器盖板的螺栓等
20CrMnSi	用于制造强度较高的焊接件、韧性较好的受拉力的零件以及厚度小于16mm的薄板冲压件、冷拉零件、冷冲零件，如矿山设备中的较大断面的链条、链环、螺栓等
25CrMnSi	制造拉杆、重要的焊接和冲压零件、高强度的焊接构件
30CrMnSi	多用于制造重载、高速的各种重要零件，如齿轮、轴、离合器、链轮、砂轮轴、轴套、螺栓、螺母等；也用于制造耐磨、工作温度不高的零件、变载荷的焊接构件，如高压鼓风机的叶片、阀板以及非腐蚀性管道管子

（续）

牌号	应 用 举 例
35CrMnSiA	用于制造中速、重载、高强度的零件及高强度构件，如飞机起落架等高强度零件、高压鼓风机叶片；在制造中、小断面零件时，可以部分替代相应的铬镍钼合金钢使用
20CrMnMo	常用于制造高硬度、高强度、高韧性的较大的重要渗碳件（其要求均高于 15CrMnMo），如曲轴、凸轮轴、连杆、齿轮轴、齿轮、销轴，还可代替 12Cr2Ni4 使用
40CrMnMo	用于制造重载、断面较大的齿轮轴、齿轮、载货汽车的后桥半轴、轴、偏心轴、连杆、汽轮机的类似零件，还可代替 40CrNiMo 使用
20CrMnTi	是应用广泛、用量很大的一种合金结构钢，用于制造汽车拖拉机中的断面尺寸小于 30mm 的中载或重载、冲击耐磨且高速的各种重要零件，如齿轮轴、齿圈、齿轮、十字轴、滑动轴承支承的主轴、蜗杆、牙形离合器，有时，还可以代替 20SiMoVB、20MnTiB 使用
30CrMnTi	用于制造心部强度特高的渗碳零件，如齿轮轴、齿轮、蜗杆等；也可制造调质零件，如汽车、拖拉机上较大断面的主动齿轮等
20CrNi	用于制造重载、大型、重要的渗碳零件，如花键轴、轴、键、齿轮、活塞销，也可用于制造高冲击韧度的调质零件
40CrNi	用于制造锻造和冷冲压且断面尺寸较大的重要调质件，如连杆、圆盘、曲轴、齿轮、轴、螺钉等

（续）

牌号	应 用 举 例
45CrNi	用于制造各种重要的调质件，与40CrNi用途相近，如制造内燃机曲轴，汽车、拖拉机主轴、连杆、气门及螺栓等
50CrNi	可制造重要的轴、曲轴、传动轴等
12CrNi2	适于制造心部韧性较高、强度要求不太高的受力复杂的中、小渗碳或碳氮共渗零件，如活塞销、轴套、推杆、小轴、小齿轮、齿套等
12CrNi3	用于制造表面硬度高、心部力学性能良好、重载、冲击、磨损等要求的各种渗碳或碳氮共渗零件，如传动轴、主轴、凸轮轴、心轴、连杆、齿轮、轴套、滑轮、气阀托盘、液压泵转子、活塞涨圈、活塞销、万向联轴器十字头、重要螺杆、调节螺钉等
20CrNi3	多用于制造重载条件下工作的齿轮、轴、蜗杆及螺钉、双头螺栓、销钉等
30CrNi3	用于制造大型、重载的重要零件或热锻、热冲压负荷高的零件，如轴、蜗杆、连杆、曲轴、传动轴、万向轴、前轴、齿轮、键、螺栓、螺母等
37CrNi3	用于制造重载、冲击、断面较大的零件或低温、受冲击的零件以及热锻、热冲压的零件，如转子轴、叶轮、重要的紧固件等
12Cr2Ni4	采用渗碳及二次淬火、低温回火后，用于制造重载的大型渗碳件，如各种齿轮、蜗轮、蜗杆、轴等；也可经淬火及低温回火后使用，制造高强度、高韧性的机械零件

（续）

牌号	应 用 举 例
20Cr2Ni4	用于制造要求高于12Cr2Ni4性能的大型渗碳件，如大型齿轴、轴等，也可用于制造强度、韧性均高的调质件
20CrNiMo	常用于制造中小型汽车、拖拉机的发动机和传动系统中的齿轮；也可代替12CrNi3钢制造要求心部性能较高的渗碳件、碳氮共渗件，如石油钻探和冶金露天矿用的牙轮钻头的牙爪和牙轮体
40CrNiMoA	经调质后使用，用于制作要求塑性好、强度高及大尺寸的重要零件，如重型机械中高载荷的轴类、直径大于250mm的汽轮机轴、叶片、高载荷的传动件、紧固件、曲轴、齿轮等；也可用于操作温度超过400℃的转子轴和叶片等，此外，这种钢还可以进行渗氮处理后用来制作特殊性能要求的重要零件
45CrNiMoVA	主要用于制作飞机发动机曲轴、大梁、起落架、压力容器和中小型火箭壳体等高强度结构零、部件；在重型机器制造中，用于制作重载的扭力轴、变速器轴、摩擦离合器轴等
18Cr2Ni4WA	用于断面更大、性能要求比12Cr2Ni4钢更高的零件
25Cr2Ni4WA	制造在动载荷下工作的重要零件，如挖掘机的轴齿轮等

表 4-7　合金结构钢推荐热处理参数

牌号	试样毛坯尺寸/mm	热处理					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度HBW 10/3000 ≤
		淬火			回火		
		加热温度/℃		冷却介质	加热温度/℃	冷却介质	
		第一次淬火	第二次淬火				
20Mn2	15	850	—	水、油	200	水、空	187
		880	—	水、油	440	水、空	
30Mn2	25	840	—	水	500	水	207
35Mn2	25	840	—	水	500	水	207
40Mn2	25	840	—	水、油	540	水	217
45Mn2	25	840	—	油	550	水、油	217
50Mn2	25	820	—	油	550	水、油	229
20MnV	15	880	—	水、油	200	水、空	187
27SiMn	25	920	—	水	450	水、油	217
35SiMn	25	900	—	水	570	水、油	229
42SiMn	25	880	—	水	590	水	229
20SiMn2MoV	试样	900	—	油	200	水、空	269
25SiMn2MoV	试样	900	—	油	200	水、空	269
37SiMn2MoV	25	870	—	水、油	650	水、空	269
40B	25	840	—	水	550	水	207
45B	25	840	—	水	550	水	217
50B	20	840	—	油	600	空	207
40MnB	25	850	—	油	500	水、油	207
45MnB	25	840	—	油	500	水、油	217

（续）

牌号	试样毛坯尺寸/mm	热处理					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度 HBW 10/3000 ≤
		淬火			回火		
		加热温度/℃		冷却介质	加热温度/℃	冷却介质	
		第一次淬火	第二次淬火				
20MnMoB	15	880	—	油	2000	油、空	207
15MnVB	15	860	—	油	200	水、空	207
20MnVB	15	860	—	油	200	水、空	207
40MnVB	25	850	—	油	520	水、油	207
20MnTiB	15	860	—	油	200	水、空	187
25MnTiBRE	试样	860	—	油	200	水、空	229
15Cr	15	880	780～820	水、油	200	水、空	179
15CrA	15	880	770～820	水、油	180	油、空	179
20Cr	15	880	780～820	水、油	200	水、空	179
30Cr	25	860	—	油	500	水、油	187
35Cr	25	860	—	油	500	水、油	207
40Cr	25	850	—	油	520	水、油	207
45Cr	25	840	—	油	520	水、油	217
50Cr	25	830	—	油	520	水、油	229
38CrSi	25	900	—	油	600	水、油	255

（续）

牌号	试样毛坯尺寸/mm	热处理					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度 HBW 10/3000 ≤
		淬火			回火		
		加热温度/℃		冷却介质	加热温度/℃	冷却介质	
		第一次淬火	第二次淬火				
12CrMo	30	900	—	空	650	空	179
15CrMo	30	900	—	空	650	空	179
20CrMo	15	880	—	水、油	500	水、油	197
30CrMo	25	880	—	水、油	540	水、油	229
30CrMoA	15	880	—	油	540	水、油	229
35CrMo	25	850	—	油	550	水、油	229
42CrMo	25	850	—	油	560	水、油	217
12CrMoV	30	970	—	空	750	空	241
35CrMoV	25	900	—	油	630	水、油	241
12Cr1MoV	30	970	—	空	750	空	179
25Cr2MoVA	25	900	—	油	640	空	241
25Cr2Mo1VA	25	1040	—	空	700	空	241
38CrMoAl	30	940	—	水、油	640	水、油	229
40CrV	25	880	—	油	650	水、油	241
50CrVA	25	860	—	油	500	水、油	255
15CrMn	15	880	—	油	200	水、空	179
20CrMn	15	850	—	油	200	水、空	187
40CrMn	25	840	—	油	550	水、油	229

（续）

牌号	试样毛坯尺寸/mm	热处理					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度HBW 10/3000 ≤
		淬火			回火		
		加热温度/℃		冷却介质	加热温度/℃	冷却介质	
		第一次淬火	第二次淬火				
20CrMnSi	25	880	—	油	480	水、油	207
25CrMnSi	25	880	—	油	480	水、油	217
30CrMnSi	25	880	—	油	520	水、油	229
30CrMnSiA	25	880	—	油	540	水、油	229
35CrMnSiA	试样	加热到880℃，于280～310℃等温淬火					241
	试样	950	890	油	230	空、油	
20CrMnMo	15	850	—	油	200	水、空	217
40CrMnMo	25	850	—	油	600	水、油	217
20CrMnTi	15	880	870	油	200	水、空	217
30CrMnTi	试样	880	850	油	200	水、空	229
20CrNi	25	850	—	水、油	460	水、油	197
40CrNi	25	820	—	油	500	水、油	241
45CrNi	25	820	—	油	530	水、油	255
50CrNi	25	820	—	油	500	水、油	255
12CrNi2	15	860	780	水、油	200	水、空	207
12CrNi3	15	860	780	油	200	水、空	217
20CrNi3	25	830	—	水、油	480	水、油	241
30CrNi3	25	820	—	油	500	水、油	241

（续）

牌号	试样毛坯尺寸/mm	热处理					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度 HBW 10/3000 ≤
		淬火			回火		
		加热温度/℃		冷却介质	加热温度/℃	冷却介质	
		第一次淬火	第二次淬火				
37CrNi3	25	820	—	油	500	水、油	269
12Cr2Ni4	15	860	780	油	200	水、空	269
20Cr2Ni4	15	880	780	油	200	水、空	269
20CrNiMo	15	850	—	油	200	空	197
40CrNiMoA	25	850	—	油	600	水、油	269
18CrMnNiMoA	15	830	—	油	200	空	269
45CrNiMoVA	试样	860	—	油	460	油	269
18Cr2Ni4WA	15	950	850	空	200	水、空	269
25Cr2Ni4WA	25	850	—	油	550	水、油	269

注：1. 表中所列热处理温度允许调整范围：淬火 ±15℃，低温回火 ±20℃，高温回火 ±50℃。

2. 硼钢在淬火前可先经正火，正火温度应不高于其淬火温度，铬锰钛钢第一次淬火可用正火代替。

3. 拉伸试验时试样钢上不能发现屈服，无法测定屈服强度的情况下，可以测规定残余伸长应力。

5. 易切削结构钢（表4-8）

表4-8 易切削结构钢的特性和应用

牌号	特性和应用举例
Y12 Y15	用于制造机械上使用的螺钉、螺杆、螺母、连接机件用的螺栓、转向拉杆球形螺栓、液压泵传动齿轮等
Y12Pb Y15Pb	用于自动加工的紧固件、标准件，如螺母、管接头、销、小轴等
Y20	用于制造缝纫机、打字机、计算机等小型机器上难以加工的复杂断面的零件，以及内燃机凸轮轴、离合器开关、球形卡头的销钉等
Y30 Y35	用于要求抗拉强度更高的部件，一般都以冷拉状态使用
Y40Mn Y45Ca	用于制造经热处理的齿轮、轴等

6. 非调质机械结构钢（表4-9）

表 4-9　非调质机械结构钢的特性和应用

钢材类型	牌号	特性和应用范围	布氏硬度 HBW ≤
直径或边长 ≤ 40mm 易切削非调质钢	F35VS	非调质机械结构钢是在中碳钢中添加微量合金元素，通过控温轧制（锻制）、控温冷却，使其在轧制（锻制）后不经调质处理，即可获得碳素结构钢或合金结构钢经调质处理后所能达到的力学性能的节能型新钢种 非调质机械结构钢广泛应用于汽车、机床和农业机械	229
	F40VS		255
	F45VS①		257
	F35MnVS①		257
	F40MnVS①		275
	F45MnVS		285
直径或边长 > 40 ~ 60mm 易切削非调质钢	F35MnVS		257
	F40MnVS		265
	F45MnVS		275
热锻用非调质钢	F45VS		257
	F35MnVNS		269
	F40MnVS		275

① 当硫含量只有上限要求时，牌号尾部不加“S”。

7. 弹簧钢（表 4-10、表 4-11）

表 4-10　弹簧钢牌号和应用

牌号	应 用 举 例
65 70 85	应用非常广泛，但多用于工作温度不高的小型弹簧或不太重要的较大弹簧，如汽车、拖拉机、铁道车辆及一般机械用的弹簧
65Mn	价格较低，用量很大。制造各种小断面扁簧、圆簧、发条等，亦可制造气门弹簧、弹簧环、减振器和离合器簧片、制动用簧等

（续）

牌号	应 用 举 例
55Si2Mn 60Si2Mn 60Si2MnA	主要的弹簧钢类，用途很广。制造各种弹簧，如汽车、机车、拖拉机的板簧、螺旋弹簧，气缸安全阀簧及一些在高应力下工作的重要弹簧，磨损严重的弹簧
55Si2MnB	轻型、中型汽车的前后悬架弹簧、副簧
55SiMnVB	主要制造中、小型汽车的板簧，使用效果好，亦可制其他中等断面尺寸的板簧、螺旋弹簧
60Si2CrA 60Si2CrVA	制造载荷大的重要大型弹簧。60Si2CrA 可制汽轮机汽封弹簧、调节弹簧、冷凝器支承弹簧，高压水泵碟形弹簧等。60Si2CrVA 钢还制作极重要的弹簧，如常规武器取弹钩弹簧、破碎机弹簧
55CrMnA 60CrMnA	大断面的各种重要弹簧，如汽车、机车的大型板簧、螺旋弹簧等
60CrMnMoA	大型土木建筑、重型车辆、机械等使用的超大型弹簧。钢板厚度可达 35mm 以上，圆钢直径可超过 60mm
50CrVA	各种重要的螺旋弹簧，特别适宜用作工作应力振幅高、疲劳性能要求严格的弹簧，如阀门弹簧、喷油嘴弹簧、气缸胀圈、安全阀簧等
60CrMnBA	尺寸更大的板簧、螺旋弹簧、扭转弹簧等
30W4Cr2VA	工作温度 500℃以下的耐热弹簧，如汽轮机主蒸汽阀弹簧、汽封弹簧片、锅炉安全阀弹簧、400t 锅炉碟形阀弹簧等

表 4-11 弹簧钢的热处理及力学性能

牌号	热处理制度①			力学性能 ≥				
	淬火温度/℃	淬火介质	回火温度/℃	抗拉强度 R_m/(N/mm²)	屈服强度 R_{eL}/(N/mm²)	断后伸长率 A(%)	断后伸长率 $A_{11.3}$(%)	断面收缩率 Z(%)
65	840	油	500	980	785		9	35
70	830	油	480	1030	835		8	30
85	820	油	480	1130	980		6	30
65Mn	830	油	540	980	785		8	30
55SiMnVB	860	油	460	1375	1225		5	30
60Si2Mn	870	油	480	1275	1180		5	25
60Si2MnA	870	油	440	1570	1375		5	20
60Si2CrA	870	油	420	1765	1570	6		20
60Si2CrVA	850	油	410	1860	1665	6		20
55SiCrA	860	油	450	1450～1750	1300($R_{p0.2}$)	6		25
55CrMnA	830～860	油	460～510	1225	1080($R_{p0.2}$)	9		20
60CrMnA	830～860	油	460～520	1225	1080($R_{p0.2}$)	9		20
50CrVA	850	油	500	1275	1130	10		40
60CrMnBA	830～860	油	460～520	1225	1080($R_{p0.2}$)	9		20
30W4Cr2VA	1050～1100	油	600	1470	1325	7		40

① 除规定热处理温度上、下限外，表中热处理温度允许偏差为：淬火±20℃；回火±50℃。根据需方特殊要求，回火可按±30℃进行。

4.1.2 工具钢

1. 碳素工具钢（表4-12、表4-13）

表4-12 碳素工具钢牌号和应用

牌号	应用举例
T7 T7A	用于制造要求有较大塑性和一定硬度但切削能力要求不太高的工具，如錾子、冲子、小尺寸风动工具，木工用的锯、凿，锻模、压模、钳工工具、锤、铆钉冲模、大锤，车床顶尖、铁皮剪、钻头等
T8 T8A	用于制造工作时不易变热的工具，如加工木材用的铣刀、埋头钻、斧、錾子、简单的模子冲头及手用锯、圆锯片、滚子、铅锡合金压铸板和型芯、钳工装配的工具、压缩空气工具等
T8Mn T8MnA	除能用于制造T8、T8A所能制造的工具外，还能制造横纹锉刀、手锯条、采煤及修石錾子等工具
T9 T9A	用于制造有韧性又有硬度的工具，如冲模冲头、木工工具等。T9还可制造农机切割零件，如刀片等
T10 T10A	制造手工锯、机用细木锯、麻花钻、拉丝模小型冲模、丝锥、车刨刀、扩孔刀具、螺纹板牙、铣刀、钻极硬岩石用钻头、螺纹刀具、钻紧密岩石用刀具、刻锉刀用的錾子等
T11 T11A	制造工作时不易变热的工具，如丝锥、锉刀、刮刀、尺寸不大和截面无急剧变化的冷冲模及木工工具等
T12 T12A	适于制造车速不高、刃口不易变热的车刀、铣刀、钻头、铰刀、扩孔钻、丝锥、板牙、刮刀、量规及断面尺寸小的冷切边模、冲孔模、金属锯条、钢用工具等
T13 T13A	用于制造剃刀、切削刀具、车刀、刻刀、刮刀、拉丝工具、钻头、硬石加工用工具、雕刻用的工具

表 4-13　碳素工具钢的牌号、化学成分及淬火后钢的硬度

<table>
<tr><th rowspan="2">牌号</th><th colspan="5">化学成分（质量分数，%）</th><th rowspan="2">退火后钢的硬度 HBW ≤</th><th colspan="2">淬火及淬火后钢的硬度</th></tr>
<tr><th>C</th><th>Mn</th><th>Si ≤</th><th>S ≤</th><th>P ≤</th><th>淬火温度/℃及冷却介质</th><th>HRC ≥</th></tr>
<tr><td>T7</td><td>0.65～0.84</td><td rowspan="2">≤0.40</td><td rowspan="8">0.35</td><td rowspan="8">0.030</td><td rowspan="8">0.035</td><td rowspan="3">187</td><td>800～820，水</td><td rowspan="8">62</td></tr>
<tr><td>T8</td><td>0.75～0.84</td><td rowspan="2">780～800，水</td></tr>
<tr><td>T8Mn</td><td>0.80～0.90</td><td>0.40～0.60</td></tr>
<tr><td>T9</td><td>0.85～0.94</td><td rowspan="5">≤0.40</td><td>192</td><td rowspan="5">760～780，水</td></tr>
<tr><td>T10</td><td>0.95～1.04</td><td>197</td></tr>
<tr><td>T11</td><td>1.05～1.14</td><td rowspan="2">207</td></tr>
<tr><td>T12</td><td>1.15～1.24</td></tr>
<tr><td>T13</td><td>1.25～1.35</td><td>217</td></tr>
</table>

注：1. 平炉冶炼的钢硫含量：高级优质钢（钢牌号后加符号“A”）w_S 不大于 0.025%，优质钢 w_S 不大于 0.035%。
2. 高级优质钢的 w_S 不大于 0.020%，w_P 不大于 0.030%。
3. 钢中残余元素允许含量，w_{Cr} 不大于 0.25%，w_{Ni} 不大于 0.20%，w_{Cu} 不大于 0.30%。

2. 合金工具钢（表 4-14、表 4-15）

表 4-14　合金工具钢牌号和应用

牌号	应 用 举 例
9SiCr	适用于耐磨性高、切削不剧烈且变形小的刃具，如板牙、丝锥、钻头、铰刀、齿轮铣刀、拉刀等，还可用作冷冲模及冷轧辊
8MnSi	多用作木工錾子、锯条及其他工具，制造穿孔器与扩孔器工具以及小尺寸热锻模和冲头、热压锻模、螺栓、道钉冲模、拔丝模、冷冲模及切削工具
Cr06	多经冷轧成薄钢带后，用于制作剃刀、刀片及外科医疗刀具，也可用作刮刀、刻刀、锉刀等
Cr2	多用于低速、进给量小、加工材料不很硬的切削刀具，如车刀、插刀、铣刀、铰刀等，还可用作量具、样板、量规、偏心轮、冷轧辊、钻套和拉丝模，还可用作大尺寸的冷冲模
9Cr2	主要用作冷轧辊、钢印冲孔錾子、冷冲模冲头、木工工具等
W	多用于工作温度不高、切削速度不大的刀具，如小型麻花钻、丝锥、板牙、铰刀、锯条、辊式刀具等
4CrW2Si	适用于剪切机刀片、冲击振动较大的风动工具、中应力热锻模、受热低的压铸模

（续）

牌号	应 用 举 例
5CrW2Si	用于手动和风动錾子、空气锤工具、铆钉工具、冷冲模、重振动的切割器，作为热加工用钢时，可用于冲孔、穿孔工具、剪切模、热锻模、易熔合金的压铸模
6CrW2Si	可用于重载条件下工作的冲模、压铸模、铸造精整工具、风动錾子等，作为热加工用钢，可生产螺钉和热铆的冲头、高温压铸轻合金的顶头、热锻模等
Cr12	多用于制造耐磨性能高、不承受冲击的模具及加工材料不硬的刃具，如车刀、铰刀、冷冲模、冲头及量规、样板、量具、凸轮销、偏心轮、冷轧辊、钻套和拉丝模
Cr12MoV	适用于各种压铸、模具，如各种冲孔凹模，切边模、滚边模、缝口模、拉丝模、钢板拉深模、螺纹搓丝板、标准工具和量具
Cr5Mo1V	适于制造韧性好，耐磨的冷作模具、成形模、下料模、冲头、冷冲裁模等
9Mn2V	适用于制作各种变形小、耐磨性高的精密丝杠、磨床主轴、样板、凸轮、量块、量具及丝锥、板牙、铰刀以及压铸轻金属合金的推入装置
CrWMn	多用于制造变形小、长而形状复杂的切削刀具，如拉刀、长丝锥、长铰刀、专用铣刀、量规及形状复杂、高精度的冷冲模

（续）

牌号	应用举例
9CrWMn	同 CrWMn
Cr4W2MoV	用于制造冷冲模、冷挤压模、搓丝板等，也可冲裁 1.5 ~ 6.0mm 厚的弹簧钢板
6Cr4W3Mo2-VNb	用于制造冲击载荷及形状复杂的冷作模具、冷挤压模具、冷镦模具、螺钉冲头等
6W6Mo5Cr4V	适用于制作冲头、模具
5CrMnMo	适用于制作中、小型热模锻，且边长小于或等于 300 ~ 400mm
5CrNiMo	适用于制作形状复杂、强冲击载荷的各种中、大型锤锻模
3Cr2W8V	适于制作高温、高应力，但不受冲击的模具，如平锻机上的凸凹模、镶块、铜合金挤压模等，还可制作热剪切刀
5Cr4Mo-3SiMnVAl	适用于制作冷镦模、冲孔凹模、槽用螺栓热锻模、热挤压冲头等，可以代替 3Cr2W8V、Cr12MoV 使用
3Cr3Mo3W2V	可制作热作模具，如镦锻模、精锻模、辊锻模具、压力机用模具等
5Cr4W5Mo2V	多用于制造热挤压模具，时常代替 3Cr2W8V
8Cr3	常用于冲击、振动较小，工作温度低于 500℃，耐磨损的模具，如热切边模、成形冲模、螺栓热顶锻模等

（续）

牌号	应用举例
4CrMnSiMoV	用于制作锤锻模、压力机锻模、校正模、弯曲模等
4Cr3Mo3SiV	可制作热辊锻模、塑压模、热锻模、热冲模等
4Cr5MoSiV	适于制造热挤压模、螺栓模、热切边模、锤锻模、铝合金压铸模等
4Cr5MoSiV1	可用作模锻锤锻模、铝合金压铸模、热挤压模具、高速精锻模具及锻造压力机模具等
4Cr5W2VSi	可用于锻压模具、冲头、热挤压模具、有色金属压铸模等
7Mn15Cr2Al3V2WMo	用于制造无磁模具、无磁轴承以及在强磁场中不产生磁感应的结构零件
3Cr2Mo	适用于制造塑料模、低熔点金属压铸模

表 4-15　合金工具钢牌号及淬火硬度值

牌号	交货状态		试样淬火	
	布氏硬度 HBW	压痕直径 /mm	淬火温度/℃ 和冷却介质	洛氏硬度 HRC ≥
9SiCr	241～197	3.9～4.3	820～860，油	62
8MnSi	≤229	≥4.0	800～820，油	60
Cr06	241～187	3.9～4.4	780～810，水	64
Cr2	229～179	4.0～4.5	830～860，油	62
9Cr2	217～179	4.1～4.5	820～850，油	62
W	229～187	4.0～4.4	800～830，水	62
4CrW2Si	217～179	4.1～4.5	860～900，油	53
5CrW2Si	255～207	3.8～4.2	860～900，油	55

（续）

牌号	交货状态		试样淬火	
	布氏硬度 HBW	压痕直径 /mm	淬火温度/℃和冷却介质	洛氏硬度 HRC ≥
6CrW2Si	285～229	3.6～4.0	860～900，油	57
Cr12	269～217	3.7～4.1	950～1000，油	60
Cr12Mo1V1	≤255	≥3.8	①	59
Cr12MoV	255～207	3.8～4.2	950～1000，油	58
Cr5Mo1V	≤255	≥3.95	②	60
9Mn2V	≤229	≥4.0	780～810，油	62
CrWMn	255～207	3.8～4.2	800～830，油	62
9CrWMn	241～197	3.9～4.3	800～830，油	62
CrW2MoV	≤269	≥3.7	960～980、1020～1040，油	60
6Cr4W3Mo2VNb	≤255	≥3.8	1100～1160，油	60
6W6Mo5Cr4V	≤269	≥3.7	1180～1160，油	60
5CrMnMo	241～197	3.9～4.3	820～850，油	60
5CrMiMo			830～860，油	
3Cr2W8V	255～207	3.8～4.2	1075～1125，油	60
5Cr4Mo3SiMnVAl	255	≥3.8	1090～1120，油	60
3Cr3Mo3W2V			1060～1130，油	
5Cr4W5Mo2V	≤269	≥3.7	1100～1150，油	60
8Cr3	255～207	3.8～4.2	850～880，油	60
4CrMnSiMoV	241～197	3.9～4.3	870～930，油	60
4Cr3Mo3SiV	≤229	≥4.0	③	60
4Cr5MoSiV	≤235	≥3.95	④	60
4Cr5MoSiV1	≤235	≥3.95	⑤	60

（续）

牌号	交货状态		试样淬火	
	布氏硬度 HBW	压痕直径 /mm	淬火温度/℃和冷却介质	洛氏硬度 HRC ≥
4Cr5W2VSi	≤229	≥4.0	1030～1050，油或空	60
7Mn15Cr2Al3V2-WMo	—	—	1170～1190，固溶水 650～700，时效空	45
3Cr2Mo	—	—		—

① 表示 820℃预热，1000℃（盐浴）或 1010℃（炉控气氛）加热，保温 10～20min，空冷，200℃回火。

② 表示 790℃预热，940℃（盐浴）或 950℃（炉控气氛）加热，保温 5～15min，空冷，200℃回火。

③ 表示 790℃预热，1010℃（盐浴）或 1020℃（炉控气氛）加热，保温 5～15min，空冷，550℃回火。

④ 表示 790℃预热，1000℃（盐浴）或 1010℃（炉控气氛）加热，保温 5～15min，空冷，550℃回火。

⑤ 790℃±15℃预热，1000℃（盐浴）或 1010℃（炉控气氛）±6℃加热，保温 5～15min，空冷，550℃±6℃回火。

3. 高速工具钢（表4-16、表4-17）

表4-16 高速工具钢牌号和应用

牌号	应用举例
W18Cr4V	广泛用于制造加工中等硬度或软的材料的各种刀具，如车刀、铣刀、拉刀、齿轮刀具、丝锥等；也可制作冷作模具，还可用于制造高温下工作的轴承、弹簧等耐磨、耐高温的零件
W18Cr4VCo5	可以制造加工较高硬度的高速切削的各种刀具，如滚刀、车刀和铣刀等，以及自动化机床的加工刀具
W18Cr4V2Co8	可以用于制造加工高硬度、高切削力的各种刀具，如铣刀、滚刀及车刀等
W12Cr4V5Co5	适用于加工难加工材料，如高强度钢、中强度钢、冷轧钢、铸造合金钢等；适于制作车刀、铣刀、齿轮刀具、成形刀具、螺纹加工刀具及冷作模具；但不适于制造高精度的复杂刀具
W6Mo5Cr4V2	适于制造钻头、丝锥、板牙、铣刀、齿轮刀具、冷作模具等
CW6Mo5Cr4V2	用于制造切削性能较高的冲击不大的刀具，如拉刀、铰刀、滚刀、扩孔刀等

（续）

牌号	应用举例
W6Mo4Cr4V3	可制作各种类型的一般刀具，如车刀、刨刀、丝锥、钻头、成形铣刀、拉刀、滚刀、螺纹梳刀等，适于加工中高强度钢、高温合金等难加工材料。因可磨削性差，不宜制作高精度复杂刀具
CW6Mo5Cr4V3	用途同 W6Mo5Cr4V3
W2Mo9Cr4V2	用于制作铣刀、成形刀具、丝锥、锯条、车刀、拉刀、冷冲模具等
W6Mo5Cr4V2Co5	可用于制造加工硬质材料的各种刀具，如齿轮刀具、铣刀、冲头等
W7Mo4Cr4V2Co5	一般用于制造齿轮刀具、铣刀以及冲头、刀头等工具，供作切削硬质材料用
W2Mo9Cr4VCo8	适于制作各种高精度复杂刀具，如成形铣刀、精拉刀、专用钻头、车刀、刀头及刀片，对于加工铸造高温合金、钛合金、超高强度钢等难加工材料，均可得到良好的效果
W9Mo3Cr4V	制造各种高速切削刀具和冷、热模具
W6Mo5Cr4V2Al	适于加工各种难加工材料，如高温合金、超高强度钢、不锈钢等，可制作车刀、镗刀、铣刀、钻头、齿轮刀具、拉刀等

表 4-17　高速工具钢牌号及淬火硬度

牌号	交货硬度[①]（退火态）HBW 不大于	试样热处理制度及淬回火硬度					
		预热温度/℃	淬火温度/℃ 盐浴炉	淬火温度/℃ 箱式炉	淬火介质	回火温度[②] ℃	硬度 HRC 不小于
W3Mo3Cr4V2	255		1180～1120	1180～1120		540～560	63
W4Mo3Cr4VSi	255		1170～1190	1170～1190		540～560	63
W18Cr4V	255		1250～1270	1260～1280		550～570	63
W2Mo8Cr4V	255		1180～1120	1180～1120		550～570	63
W2Mo9Cr4V2	255		1190～1210	1200～1220		540～560	64
W6Mo5Cr4V2	255	800～900	1200～1220	1210～1230	油或盐浴	540～560	64
CW6Mo5Cr4V2	255		1190～1210	1200～1220		540～560	64
W6Mo6Cr4V2	262		1190～1210	1190～1210		550～570	64
W9Mo3Cr4V	255		1200～1220	1220～1240		540～560	64
W6Mo5Cr4V3	262		1190～1210	1200～1220		540～560	64
CW6Mo5Cr4V3	262		1180～1200	1190～1210		540～560	64

（续）

牌号	交货硬度①（退火态）HBW 不大于	试样热处理制度及淬回火硬度					
		预热温度/℃	淬火温度/℃		淬火介质	回火温度② ℃	硬度 HRC 不小于
			盐浴炉	箱式炉			
W6Mo5Cr4V4	269	800～900	1200～1220	1200～1220	油或盐浴	550～570	64
W6Mo5Cr4V2Al	269		1200～1220	1230～1240		550～570	65
W12Cr4V5Co5	277		1220～1240	1230～1250		540～560	65
W6Mo5Cr4V2Co5	269		1190～1210	1200～1220		540～560	64
W6Mo5Cr4V3Co8	285		1170～1190	1170～1190		550～570	65
W7Mo4Cr4V2Co5	269		1180～1200	1190～1210		540～560	66
W2Mo9Cr4VCo8	269		1170～1190	1180～1200		540～560	66
W10Mo4Cr4V3Co10	285		1220～1240	1220～1240		550～570	66

① 退火＋冷拉态的硬度，允许比退火态指标增加50HBW。

② 回火温度为550～570℃时，回火2次，每次1h；回火温度为540～560℃时，回火2次，每次2h。

4.1.3 轴承钢（表4-18）

表4-18 常用轴承钢牌号的特性和应用

牌号	主要特性	应用举例
（1）高碳铬不锈轴承钢		
9Cr18 9Cr18Mo	具有高的硬度和耐回火性，可加工性及冷冲压性良好，导热性差，淬火冷处理和低温回火有更高的力学性能	用于制造耐蚀的轴承套圈及滚动体，如海水、河水、硝酸、化工石油、核反应堆用轴承；还可以制作耐蚀高温轴承钢使用，其工作温度不高于250℃；也可制造高质量的刀具、医用手术刀、耐磨和耐蚀但动载荷较小的机械零件
（2）高碳铬轴承钢		
GCr9	耐磨性和淬透性较高，可加工性及应变塑性中等，白点形成较敏感，焊接性差，有回火脆性倾向，主要在淬火并低温回火状态下使用	用于制造转动轴上尺寸较小的钢球和滚子，一般条件下工作的大套圈及滚动体，是一种应用广泛的轴承钢，用于机床、机车、电动机及航空的微型轴承及一般轴承；也可以制作弹性、耐磨、接触疲劳强度都要求高的重要机械零件
GCr15	淬透性好，耐磨性高，疲劳寿命高，冷加工塑性变形中等，可加工性较好，焊接性差，一般经淬火、低温回火后使用	用于制造大型机械轴承的钢球、滚子和套圈，还可以制造耐磨、高接触疲劳强度的较大载荷的机器零件，如牙轮钻头的转动轴、叶片、泵定子、靠模、套筒、心轴、机床丝杠、冷冲模等

（续）

（2）高碳铬轴承钢		
牌号	主要特性	应用举例
GCr9SiMn	性能与 GCr15 相近，但淬透性和工艺性能较高	用于制造尺寸较大的轴承套圈，可代替 GCr15 使用
GCr15SiMn	耐磨性和淬透性比 GCr15 更高，冷加工塑性中等，焊接性差，对白点形成敏感，热处理时有回火脆性	用于制造大型轴承的套圈、钢球和滚子，还可制造高耐磨性、高硬度的零件，如轧辊、量规等，特性和应用与 GCr15 相近

（3）渗碳轴承钢	
牌号	应用举例
G20CrMo	用于汽车、拖拉机等承受冲击载荷的轴承套圈和滚动体
G20CrNiMo	用于汽车、拖拉机等承受冲击载荷的轴承套圈和滚动体
G20CrNi2Mo	用于承受冲击载荷较高的轴承，如发动机主轴承等
G20Cr2Ni4	制造高冲击载荷的特大型轴承，如轧钢机、矿山机械的轴承，也用于制造承受冲击载荷大、安全性要求高的中小型轴承
G10CrNi3Mo	用于承受冲击载荷大的大中型轴承
G20Cr2-Mn2Mo	制造高冲击载荷的特大型轴承，如轧钢机、矿山机械的轴承，也用于制造承受冲击载荷大、安全性要求高的中小型轴承，是适应我国资源特点创新的新钢种

4.2　常用铸铁的品种、性能和用途

4.2.1　灰铸铁（表 4-19）

表 4-19　灰铸铁件的应用范围

牌号	硬度 HBW	应用范围	
		工作条件	用途举例
HT100	≤170	1）载荷极低 2）磨损无关重要 3）变形很小	盖、外罩、油盘、手轮、手把、支架、座板、重锤等形状简单、不甚重要的零件。这些铸件通常不经试验即被采用，一般不须加工，或者只须经过简单的机械加工
HT150	150 ~ 200	1）承受中等载荷的零件 2）摩擦面间的单位面积压力不大于 490kPa	1）一般机械制造中的铸件，如：支柱、底座、齿轮箱、刀架、轴承座、轴承滑座、工作台，齿面不加工的齿轮和链轮，汽车拖拉机的进气管、排气管、液压泵进油管等 2）薄壁（重量不大）零件，工作压力不大的管子配件以及壁厚≤30mm 的耐磨轴套等 3）圆周速度 >6 ~ 12m/s 的带轮以及其他符合左列工作条件的零件

（续）

牌号	硬度 HBW	应用范围	
		工作条件	用途举例
HT200	170～220	1）承受较大负荷的零件 2）摩擦面间的单位面积压力大于490kPa者（大于10t的大型铸件＞1470kPa）或须经表面淬火的零件 3）要求保持气密性，或要求抗胀性以及韧性的零件	1）一般机械制造中较为重要的铸件，如气缸、齿轮、链轮、棘轮、衬套、金属切削机床床身、飞轮等 2）汽车、拖拉机的气缸体、气缸盖、活塞、制动毂、联轴器盘、飞轮、齿轮、离合器外壳、分离器本体、左右半轴壳 3）承受7840kPa以下中等压力的液压缸、泵体、阀体等 4）汽油机和柴油机的活塞环 5）圆周速度＞12～20m/s的带轮以及其他符合左列工作条件的零件
HT250	190～240		
HT300	210～260	1）承受高弯曲力及高拉力的零件 2）摩擦面间的单位面积压力≥1960kPa或需进行表面淬火的零件 3）要求保持高度气密性的零件	1）机械制造中重要的铸件，如：剪床、压力机、自动车床和其他重型机床的床身、机座、机架和大而厚的衬套、齿轮；大型发动机的气缸体、气缸套、气缸盖等 2）高压的液压缸、泵体、阀体等 3）圆周速度＞20～25m/s的带轮以及符合左列工作条件的其他零件
HT350	230～280		

4.2.2　球墨铸铁（表4-20）

表4-20　球墨铸铁件的特性和应用范围

牌号	硬度 HBW	主要特性	应用举例
QT400-18 QT400-15	120～175 120～180	具有良好的焊接性和可加工性，常温时冲击韧度高，而且脆性转变温度低，同时低温韧性也很好	农机具：重型机引五铧犁、轻型二铧犁、悬挂犁上的犁柱、犁托、犁侧板、牵引架、收割机及割草机上的导架、差速器壳、护刃器
QT450-10	160～210	焊接性、可加工性均较好，塑性略低于QT400-18，而强度与小能量冲击韧度优于QT400-18	汽车、拖拉机、手扶拖拉机：牵引框、轮毂、驱动桥壳体、离合器壳、差速器壳、离合器拔叉、弹簧吊耳、汽车底盘悬挂件 通用机械：1.6～6.4MPa阀门的阀体、阀盖、支架；压缩机上承受一定温度的高低压气缸、输气管 其他：铁路垫板、电动机机壳、齿轮箱、汽轮机壳
QT500-7	170～230	具有中等强度与塑性，切削性能尚好	内燃机的机油泵齿轮，汽轮机中温气缸隔板、水轮机的阀门体、铁路机车车辆轴瓦、机器座架、传动轴、链轮、飞轮、电动机架、千斤顶座等

（续）

牌号	硬度 HBW	主要特性	应用举例
QT600-3	190～270	中高强度，低塑性，耐磨性较好	内燃机：5～400hp（1hp=735.499W）柴油机和汽油机的曲轴、部分轻型柴油机和汽油机的凸轮轴、气缸套、连杆、进排气门座 农机具：脚踏脱粒机齿条、轻负荷齿轮、畜力犁铧 机床：部分磨床、铣床、车床的主轴 通用机械：空调机、气压机、冷冻机、制氧机及泵的曲轴、缸体、缸套 冶金、矿山、起重机械：球磨机齿轴、矿车轮、桥式起重机大小车滚轮
QT700-2 QT800-2	225～305 245～335	有较高的强度、耐磨性，低韧性（或低塑性）	
QT900-2	280～360	有高的强度、耐磨性、较高的弯曲疲劳强度、接触疲劳强度和一定的韧性	农机具：犁铧、耙片、低速农用轴承套圈 汽车：曲线齿锥齿轮、转向节、传动轴 拖拉机：减速齿轮 内燃机：凸轮轴、曲轴

4.2.3 可锻铸铁（表 4-21）

表 4-21 可锻铸铁件的特性和应用

类型	牌号	硬度 HBW	特性和应用
黑心可锻铸铁	KTH300-06	≤150	有一定的韧性和适度的强度，气密性好；用于承受低动载荷及静载荷、要求气密性好的工作零件，如管道配件（弯头、三通、管件）、中低压阀门等
	KTH330-08	≤150	有一定的韧性和强度，用于承受中等动载荷和静载荷的工作零件，如农机上的犁刀、犁柱、车轮壳，机床用的勾形扳手、螺纹扳手，铁道扣板，输电线路上的线夹本体及压板等
	KTH350-10 KTH370-12	≤150	有较高的韧性和强度，用于承受较高的冲击、振动及扭转载荷下工作的零件，如汽车、拖拉机上的前后轮壳、差速器壳、转向节壳，农机上的犁刀、犁柱、船用电动机壳，瓷绝缘子铁帽等

（续）

类型	牌号	硬度 HBW	特性和应用
珠光体可锻铸铁	KTZ450-06 KTZ550-04 KTZ650-02 KTZ700-02	150～200 180～230 210～260 240～290	韧性较低，但强度大、硬度高、耐磨性好，且可加工性良好；可代替低碳、中碳、低合金钢及有色合金制造承受较高的动、静载荷，在磨损条件下工作并要求有一定韧性的重要工作零件，如曲轴、连杆、齿轮、摇臂、凸轮轴、万向接头、活塞环、轴套、犁刀、耙片等
白心可锻铸铁	KTB350-04 KTB380-12 KTB400-05 KTB450-07	≤230 ≤220 ≤220 ≤220	白心可锻铸铁的特性是： 1）薄壁铸件仍有较好的韧性 2）有非常优良的焊接性，可与钢钎焊 3）可加工性好，但工艺复杂、生产周期长、强度及耐磨性较差，适于铸造厚度在15mm以下的薄壁铸件和焊接后不需进行热处理的铸件。在机械制造工业中很少应用这类铸铁

4.2.4 蠕墨铸铁（表4-22）

表4-22 蠕墨铸铁件的特性和应用

牌号	硬度 HBW	主要特性	应用举例
RuT420 RuT380	200～280 193～274	强度高、硬度高，具有高的耐磨性和较高的热导率，铸铁材质中需加入合金元素或经正火热处理，适用于制造要求强度或耐磨性高的零件	活塞环、气缸套、制动盘、玻璃模具、制动鼓、钢球研磨盘、吸淤泵体等
RuT340	170～249	强度和硬度较高，具有较高的耐磨性和热导率，适用于制造要求较高强度、刚度及要求耐磨的零件	带导轨面的重型机床件、大型龙门铣横梁、大型齿轮箱体、盖、座、制动鼓、飞轮、玻璃模具、起重机卷筒、烧结机滑板等
RuT300	140～217	强度和硬度适中，有一定塑韧性，热导率较高，致密性较好，适于制造要求较高强度及承受热疲劳的零件	排气管、变速器壳体、气缸盖、纺织机零件、液压件、钢锭模、某些小型烧结机箅条等
RuT260	121～197	强度一般，硬度较低，有较高的塑韧性和热导率，铸铁一般需退火热处理，适用于制造承受冲击载荷及热疲劳的零件	增压机废气进气壳体、汽车及拖拉机的某些底盘零件等

4.2.5 耐热铸铁（表 4-23）

表 4-23 耐热铸铁件的牌号、力学性能和应用

牌号	室温力学性能		高温短时力学性能 R_m/MPa					应用举例
	R_m/MPa ≥	HBW	500℃	600℃	700℃	800℃	900℃	
HTRCr	200	189～288	225	114	—	—	—	在空气、炉气中耐热温度550℃，制作炉条，高炉支架式水箱，金属型玻璃模
HTRCr2	150	207～288	243	166	—	—	—	在空气、炉气中耐热600℃，制作煤气炉内灰盆，矿山烧结车挡板
HTRCr16	340	400～450	—	—	—	144	88	在空气、炉气中耐热900℃，室温及高温下有耐磨性，耐硝酸腐蚀，制作退火罐、煤粉烧嘴、炉栅、水泥焙烧炉零件和化工机械零件

（续）

牌号	室温力学性能		高温短时力学性能 R_m/MPa					应用举例
	R_m/MPa ≥	HBW	500℃	600℃	700℃	800℃	900℃	
HTRSi5	140	160 ~ 270	—	—	41	27	—	在空气、炉气中耐热700℃，制作炉条、煤粉烧嘴、锅炉用梳形定位板、换热器针状管、二硫化碳反应瓶
QTRSi4	420	143 ~ 187	—	—	75	35	—	在空气、炉气中耐热650℃，硅含量为上限时可到750℃，制作玻璃窑烟道闸门、玻璃引上机墙板、加热炉两端管架

（续）

牌号	室温力学性能		高温短时力学性能 R_m/MPa					应用举例
	R_m/MPa ≥	HBW	500℃	600℃	700℃	800℃	900℃	
QTRSi4Mo	520	188 ~ 241	—	—	101	46	—	在空气、炉气中耐热680℃，硅含量为上限时可到780℃，高温力学性能好，制作罩式退火炉导向器、烧结机中后热筛板、加热炉吊梁
QTRSi5	370	228 ~ 302	—	—	67	30	—	在空气、炉气中耐热800℃，硅含量上限时可到900℃，制作煤粉烧嘴、炉条、辐射管、烟道闸门、加热炉中间管架

（续）

牌号	室温力学性能		高温短时力学性能 R_m/MPa					应用举例
	R_m/MPa ≥	HBW	500℃	600℃	700℃	800℃	900℃	
QTRAl4-Si4	250	285~341	—	—	—	82	32	在空气、炉气中耐热900℃，制作烧结机箅条、炉用件
QTRAl5-Si5	200	302~363	—	—	—	167	75	在空气、炉气中耐热1050℃，制作焙烧机箅条、炉用件
QTRAl22	300	241~364	—	—	—	130	77	在空气、炉气中耐热1100℃，抗高温硫蚀性好，制作锅炉用侧密封块，链式加热炉炉爪、黄铁矿焙烧炉零件

4.2.6 高硅耐蚀铸铁（表4-24）

表4-24 高硅耐蚀铸铁牌号、力学性能和应用

牌号	最小抗弯强度 σ_{dB} /MPa	最小挠度 f /mm	硬度 HRC	性能和适用条件	应用举例
HTSSi11-Cu2CrR	≥190	≥0.80	≤42	具有较好的力学性能，可以用一般的机械加工方法生产。在质量分数不低于10%的硫酸、质量分数不高于46%的硝酸或由上述两种介质组成的混合酸、质量分数不低于70%的硫酸加氯、苯、苯磺酸等介质中具有较稳定的耐蚀性能，但不允许有急剧的交变载荷、冲击载荷和温度突变	卧式离心泵、潜水泵、阀门、旋塞、塔罐、冷却排水管、弯头等化工设备和零部件等

（续）

牌号	最小抗弯强度 σ_{dB} /MPa	最小挠度 f /mm	硬度 HRC	性能和适用条件	应用举例
HTSSi15R	≥118	≥0.66	≤48	在氧化性酸、各种有机酸和一系列盐溶液介质中都有良好的耐蚀性，但在卤素的酸、盐溶液和强碱溶液中不耐蚀。不允许有急剧的交变载荷、冲击载荷和温度突变	各种离心泵、阀类、旋塞、管道配件、塔罐、低压容器及各种非标准零部件
HTSSi15-Cr4R	≥118	≥0.66	≤48	具有优良的耐电化学腐蚀性能，并有改善抗氧化性条件的耐蚀性能。高硅铬铸铁中的铬可提高其钝化性和点蚀击穿电位，但不允许有急剧的交变载荷和温度突变	在外加电流的阴极保护系统中，大量用作辅助阳极铸件
HTSSi15-Cr4MoR	≥118	≥0.66	≤48	适用于强氯化物的环境	

4.2.7 耐磨铸铁（表 4-25）

表 4-25 耐磨铸铁的力学性能和用途

牌号	抗拉强度 R_m /MPa ≥	硬度 HBW	应用举例
MTCuMo-175	175	195～260	一般耐磨零件
MTCrMoCu-235	235	200～250	活塞环、机床床身、卷筒、密封圈等耐磨零件

4.3 有色金属

4.3.1 铜及铜合金

1. 工业纯铜（表 4-26）

表 4-26 工业纯铜的牌号和应用

牌号	代号	产品形状	应用举例
一号铜	T1	板、带、箔、管	用作导电、导热、耐蚀器材。如电线、电缆、导电螺钉、爆破用雷管、化工用蒸发器、储藏器及各种管道等
二号铜	T2	板、带、箔、管、棒、线、型	
三号铜	T3	板、带、箔、管、棒、线	用作一般铜材，如电气开关、垫圈、垫片、铆钉、管嘴、油管及其他管道等

2. 加工黄铜（表 4-27）

表 4-27 加工黄铜的牌号和应用

组别	牌号		应用举例
	名称	代号	
普通黄铜	95 黄铜	H95	在一般机械制造中用作导管、冷凝管、散热器管、散热片以及导电零件等
	90 黄铜	H90	供水及排水管、奖章、艺术品以及双金属片

（续）

组别	牌号		应用举例
	名称	代号	
普通黄铜	85 黄铜	H85	冷凝和散热用管、虹吸管、蛇形管、冷却设备制件
	80 黄铜	H80	造纸网、薄壁管、皱纹管及房屋建筑用品
	70 黄铜	H70	复杂的冷冲件和深冲件，如散热器外壳、导管、波纹管、弹壳、垫片、雷管等
	68 黄铜	H68	
	68A 黄铜	H68A	
	65 黄铜	H65	小五金、日用品、小弹簧、螺钉、铆钉和机器零件
	63 黄铜	H63	各种拉深和弯折制造的受力零件，如销钉、铆钉、垫圈、螺母、导管、气压表弹簧、筛网、散热器零件等
	62 黄铜	H62	
	59 黄铜	H59	一般机器零件、焊接件、热冲及热轧零件

（续）

组别	牌号		应用举例
	名称	代号	
铅黄铜	63－3 铅黄铜	HPb63－3	主要用于要求可加工性极高的钟表结构零件、汽车拖拉机零件
	63－0.1 铅黄铜	HPb63－0.1	用于一般机器结构零件
	62－0.8 铅黄铜	HPb62－0.8	
	61－1	HPb61－1	用于高强、高可加工性结构零件
	59－1 铅黄铜	HPb59－1	适于以热冲压和切削加工制作的各种结构零件，如螺钉、垫圈、垫片、衬套、螺母、喷嘴等
锡黄铜	90－1 锡黄铜	HSn90－1	汽车拖拉机弹性套管及其他耐蚀减摩零件
铝黄铜	60－1－1 铝黄铜	HAl60－1－1	要求耐蚀的结构零件，如齿轮、蜗轮、衬套、轴等
锰黄铜	58－2 锰黄铜	HMn58－2	腐蚀条件下工作的重要零件和弱电流工业用零件
	57－3－1 锰黄铜	HMn57－3－1	耐腐蚀结构零件
	55－3－1 锰黄铜	HMn55－3－1	

（续）

组别	牌号		应用举例
	名称	代号	
铁黄铜	59－1－1铁黄铜	HFe59－1－1	制作在摩擦和受海水腐蚀条件下工作的结构零件
铁黄铜	58－1－1铁黄铜	HFe58－1－1	适于用热压和切削加工法制作的高强度耐蚀零件
硅黄铜	80－3硅黄铜	HSi80－3	船舶零件、蒸汽管和水管配件
镍黄铜	65－5镍黄铜	HNi65－5	压力表管、造纸网、船舶用冷凝管等，可作锡磷青铜的代用品

3. 加工青铜（表4-28）

表4-28　加工青铜的牌号和应用

组别	牌号		应用举例
	名称	代号	
锡青铜	4－3锡青铜	QSn4－3	制作弹簧（扁弹簧、圆弹簧）及其他弹性元件，化工设备上的耐蚀零件以及耐磨零件（如衬套、圆盘、轴承等）和抗磁零件、造纸工业用的刮刀

（续）

组别	牌号		应用举例
	名称	代号	
锡青铜	4－4－2.5 锡青铜	QSn4－4－2.5	制作在摩擦条件下工作的轴承、卷边轴套、衬套、圆盘以及衬套的内垫等。QSn4－4－4 使用温度可达 300℃以下，是一种热强性较好的锡青铜
	4－4－4 锡青铜	QSn4－4－4	
	6.5－0.1 锡青铜	QSn6.5－0.1	制作弹簧和导电性好的弹簧接触片，精密仪器中的耐磨零件和抗磁零件，如齿轮、电刷盒、振动片、接触器
	6.5－0.4 锡青铜	QSn6.5－0.4	除用作弹簧和耐磨零件外，主要用于造纸工业制作耐磨的铜网和单位负荷＜981MPa、圆周速度＜3m/s 的条件下工作的零件
	7－0.2 锡青铜	QSn7－0.2	制作中等载荷、中等滑动速度下承受摩擦的零件，如抗磨垫圈、轴承、轴套、蜗轮等，还可用作弹簧、簧片等
	4－0.3 锡青铜	QSn4－0.3	主要制作压力计弹簧用的各种尺寸的管材

（续）

组别	牌号		应用举例
	名称	代号	
铝青铜	5 铝青铜	QAl5	制作弹簧和其他要求耐蚀的弹性元件，齿轮摩擦轮，蜗杆传动机构等，可作为 QSn6.5 －0.4、QSn4 －3 和 QSn4 －4 －4 的代用品
	7 铝青铜	QAl7	
	9 －2 铝青铜	QAl9 －2	高强度耐蚀零件以及在 250℃以下蒸汽介质中工作的管配件和海轮上零件
	9 －4 铝青铜	QAl9 －4	制作在高负荷下工作的抗磨、耐蚀零件，如轴承、轴套、齿轮、蜗轮、阀座等，也用于制作双金属耐磨零件
	10 －3 －1.5 铝青铜	QAl10 －3 －1.5	制作高温条件下工作的耐磨零件和各种标准件，如齿轮、轴承、衬套、圆盘、导向摇臂、飞轮、固定螺母等。可代替高锡青铜制作重要机件
	10 －4 －4 铝青铜	QAl10 －4 －4	高强度的耐磨零件和高温下（400℃）工作的零件，如轴衬、轴套、齿轮、球形座、螺母、法兰、滑座等以及其他各种重要的耐蚀耐磨零件

（续）

组别	牌号		应用举例
	名称	代号	
铝青铜	11－6－6 铝青铜	QAl11－6－6	高强度耐磨零件和500℃下工作的高温耐蚀耐磨零件
铍青铜	2 铍青铜	QBe2	制作各种精密仪表、仪器中的弹簧和弹性元件，各种耐磨零件以及在高速、高压和高温下工作的轴承、衬套，矿山和炼油厂用的冲击不生火花的工具以及各种深冲零件
	1.7 铍青铜	QBe1.7	制作各种重要用途的弹簧、精密仪表的弹性元件、敏感元件以及承受高变向载荷的弹性元件，可代替QBe2牌号的铍青铜
	1.9 铍青铜	QBe1.9	
	1.9－0.1 铍青铜	QBe1.9－0.1	同QBe1.9

（续）

组别	牌号		应用举例
	名称	代号	
硅青铜	3－1硅青铜	QSi3－1	用于制作在腐蚀介质中工作的各种零件、弹簧和弹簧零件，以及蜗轮、蜗杆、齿轮、轴套、制动销和杆类耐磨零件，也用于制作焊接结构中的零件，可代替重要的锡青铜，甚至铍青铜
	1－3硅青铜	QSi1－3	用于制造在300℃以下，润滑不良、单位压力不大的工作条件下的摩擦零件（如发动机排气和进气门的导向套）以及在腐蚀介质中工作的结构零件
	3.5－3－1.5硅青铜	QSi3.5－3－1.5	主要用作在高温工作的轴套材料
锰青铜	1.5锰青铜	QMn1.5	用作电子仪表零件，也可作为蒸汽锅炉管配件和接头等
	2锰青铜	QMn2	
	5锰青铜	QMn5	用于制作蒸汽机零件和锅炉的各种管接头、蒸汽阀门等高温耐蚀零件

4. 铜及铜合金工艺性能（表4-29）

表 4-29 铜及铜合金工艺性能

组别	代号	铸造温度/℃	热加工温度/℃	退火温度/℃	消除内应力退火温度/℃	线收缩率(%)	可加工性(%)
纯铜	工业纯铜	1150～1230	800～950	500～700		2.1	18
黄铜	H95	1160～1200	775～850	540～600			20
	H90	1160～1200	850～950	650～720	200	2	20
	H85			650～720	180		
	H80	1160～1180	820～870	600～700	260	2	30
	H70	1100～1160	750～830	520～650	260	1.92	30
	H68	1100～1160	750～830	520～650	260	1.92	30
	H62	1060～1100	650～850	600～700	280	1.77	40
	HPb64－4	1060～1100		620～670		2.2	90
	HPb59－1	1030～1080	640～780	600～650	285	2.23	80

（续）

组别	代　　号	铸造温度/℃	热加工温度/℃	退火温度/℃	消除内应力退火温度/℃	线收缩率(%)	可加工性(%)
黄铜	HSn90－1			650～720	230		
	HSn70－1	1150～1180	650～750	560～580	320	1.71	30
	HSn62－1	1060～1100	700～750	550～650	360	1.78	40
	HSn60－1	1060～1110	760～800	550～650	290	1.78	40
	HAl77－2			600～650	320		
	HAl59－3－2			600～650	380		
	HMn58－2	1040～1080	680～730	600～650	250	1.45	22
	HFe59－1－1	1040～1080	680～730	600～650		2.14	25
	HSi80－3	950～1000	750～850			1.7	
	HNi65－5				380		

（续）

组别	代　　号	铸造温度/℃	热加工温度/℃	退火温度/℃	消除内应力退火温度/℃	线收缩率(%)	可加工性(%)
青铜	QSn4－3	1250～1270		590～610		1.45	
	QSn4－4－4	1250～1300		590～610			90
	QSn6.5－0.1	1200～1300	750～770	600～650		1.45	20
	QSn6.5－0.4	1200～1300	750～770	600～650		1.45	20
	QSn7－0.2	1200～1300	728～780	600～650		1.5	16
	QAl5			600～700			
	QAl9－2	1120～1150	800～850	650～750		1.7	20
	QAl9－4	1120～1150	750～850	700～750		2.49	20
	QAl10－3－1.5	1120～1150	775～825	650～750		2.4	20
	QAl10－4－4	1120～1200	850～900	700～750		1.8	20
	QSi3－1	1080～1100	800～850	700～750	290	1.6	30
	QBe2	1050～1160	760～800				20

4.3.2 铸造铜合金的牌号和应用（表4-30）

表4-30 铸造铜合金的牌号和应用

合金名称	合金牌号	应用举例
5－5－5锡青铜	ZCuSn5Pb5Zn5	在较重载荷、中等滑动速度下工作的耐磨、耐蚀零件，如轴瓦、衬套、缸套、活塞、离合器、泵件压盖、蜗轮等
10－1锡青铜	ZCuSn10Pb1	可用于重载荷（20MPa以下）和高滑动速度（8m/s）下工作的耐磨零件，如连杆、衬套、轴瓦、齿轮、蜗轮等
10－5锡青铜	ZCuSn10Pb5	结构材料，耐蚀、耐酸的配件以及破碎机衬套、轴瓦
10－2锡青铜	ZCuSn10Zn2	在中等及较重载荷和小滑动速度下工作的重要管配件，以及阀、旋塞、泵体、齿轮、叶轮和蜗轮等
15－8铅青铜	ZCuPb15Sn8	表面压力高，又有侧压力的轴承，可用来制造冷轧机的铜冷却管，耐冲击载荷达50MPa的零件，内燃机的双金属轴承，主要用于最大载荷达70MPa的活塞销套、耐酸配件

（续）

合金名称	合金牌号	应 用 举 例
17－4－4 铅青铜	ZCuPb17Sn4Zn4	一般耐磨件，高滑动速度的轴承等
20－5 铅青铜	ZCuPb20Sn5	高滑动速度的轴承及破碎机、水泵、冷轧机轴承，载荷达40MPa 的零件，耐腐蚀零件，双金属轴承，载荷达 70MPa 的活塞销套
30 铅青铜	ZCuPb30	要求高滑动速度的双金属轴瓦、减摩零件等
8－13－3 铝青铜	ZCuAl8Mn13Fe3	适用于制造重型机械用轴套，以及要求强度高、耐磨、耐压零件，如衬套、法兰、阀体、泵体等
10－3 铝青铜	ZCuAl10Fe3	要求强度高、耐磨、耐蚀的重型铸件，如轴套、螺母、蜗轮以及 250℃以下工作的管配件
10－3－2 铝青铜	ZCuAl10Fe3Mn2	要求强度高、耐磨、耐蚀的零件，如齿轮、轴承、衬套、管嘴，以及耐热管配件等

（续）

合金名称	合金牌号	应用举例
38 黄铜	ZCuZn38	一般结构件和耐蚀零件，如法兰、阀座、支架、手柄和螺母等
25－6－3－3 铝黄铜	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	适用高强、耐磨零件，如桥梁支承板、螺母、螺杆、耐磨板、滑板和蜗轮等
26－4－3－3 铝黄铜	ZCuZn26Al4Fe3Mn3	要求强度高、耐蚀零件
38－2－2 锰黄铜	ZCuZn38Mn2Pb2	一般用途的结构件，船舶、仪表等使用的外形简单的铸件，如套筒、衬套、轴瓦、滑块等
33－2 铅黄铜	ZCuZn33Pb2	煤气和给水设备的壳体，机械制造业、电子技术、精密仪器和光学仪器的部分构件和配件
40－2 铅黄铜	ZCuZn40Pb2	一般用途的耐磨、耐蚀零件，如轴套、齿轮等

4.3.3 常用铝及铝合金的牌号和应用（表4-31）

表4-31 常用铝及铝合金的牌号和应用

组别	牌号		产品种类	应用举例
	新牌号	旧牌号		
工业纯铝	1060 1050A	L2 L3	板、箔、管、线	用于不承受载荷，但要求具有某种特性——如高的可塑性、良好的焊接性、高的耐蚀性或高的导电、导热性——的结构元件，如铝箔用于制作垫片及电容器，其他半成品用于制作电子管隔离罩、电线保护套管、电缆电线线芯、飞机通风系统零件等
	1035 8A06	L4 L6	棒、板、箔、管、线、型	
防锈铝	3A21	LF21	板、箔、管、棒、型、线	用于要求高的可塑性和良好的焊接性、在液体或气体介质中工作的低载荷零件，如油箱、汽油或润滑油导管、各种液体容器和其他用深拉深制作的小载荷零件；线材用于制于铆钉
	5A02	LF2	板、箔、管、棒、型、线、锻件	用于焊接在液体中工作的容器和构件（如油箱、汽油和滑油导管）以及其他中等载荷的零件、车辆船舶的内部装饰件等；线材用于制作焊条和铆钉
	5A05	LF5	板、棒、管	5A05用于制作在液体中工作的焊接零件、管道和容器，以及其他零件 5B05用作铆接铝合金和镁合金结构铆钉，铆钉在退火状态下铆入结构
	5B05	LF10	线材	

（续）

组别	牌号		产品种类	应用举例
	新牌号	旧牌号		
硬铝	2A01	LY1	线材	这种合金广泛用作铆钉材料，用于中等强度和工业温度不超过100℃的结构用铆钉，因耐蚀性差，铆钉铆入结构时应在硫酸中经过阳极氧化处理，再用重铬酸钾填充氧化膜
	2A04	LY4	线材	用于结构工作温度为125 ~ 250℃的铆钉
	2A11	LY11	板、棒、管、型、锻件	用于各种中等强度的零件和构件，冲压的连接部件，空气螺旋桨叶片，局部镦粗的零件，如螺栓、铆钉等。铆钉应在淬火后2h内铆入结构
锻铝	2A70	LD7	棒、板、锻件和模锻件	用于制造内燃机活塞和在高温下工作的复杂锻件，如压气机叶轮、鼓风机叶轮等，板材可用作高温下工作的结构材料，用途比2A80更为广泛
	2A80	LD8	棒、锻件和模锻件	用于制作内燃机活塞，压气机叶片、叶轮、圆盘以及其他高温下工作的发动机零件

4.3.4 常用铸造铝合金的代号和应用（表4-32）

表4-32 常用铸造铝合金的代号和应用

代号	应用举例
ZL101	适于铸造形状复杂、中等载荷零件，或要求气密性、耐蚀性、焊接性好，且环境温度不超过200℃的零件，如水泵、传动装置、抽水机壳体、仪器仪表壳体等
ZL101A	
ZL102	适于铸造形状复杂、低载荷的薄壁零件及耐蚀性和气密性好、工作温度≤200℃的零件，如船舶零件、仪表壳体、机器盖等
ZL108	主要用于铸造汽车、拖拉机发动机活塞和其他在250℃以下高温中工作的零件
ZL109	和ZL108可互用
ZL110	可用于活塞和其他工作温度较高的零件
ZL402	用于高静载荷、冲击载荷而不便热处理的零件及要求耐蚀性和尺寸稳定性好的工作情况，如高速整铸叶轮、空压机活塞、精密机械、仪器、仪表等方面

4.4 粉末冶金材料的分类及应用（表4-33）

表 4-33　粉末冶金材料的分类及应用

类别		主要性能要求	应用举例
机械零件材料	减摩材料	承载能力（pv 值）高，摩擦因数低，耐磨且不伤对偶。需要时，可满足自润滑、低噪声、耐高温等工况要求	铁、铜基含油轴承，含高石墨及二硫化钼的铁、铜基轴承，金属塑料制品铜铅双金属制品
	结构材料	硬度、强度及韧性。需要时，可满足耐磨、耐蚀、密封及导磁等工况要求	钢、铁、铜、不锈钢基的受力件，如齿轮、汽车及冰箱压缩机零件
	多孔材料	可控孔隙的大小、形态、分布及孔隙度。需要时，可满足耐热、耐蚀、导电、灭菌、催化等功能要求	铁、铜、镍、不锈钢、银、钛、铂、碳化钨基的过滤、减振、消声、防火、催化、电极、热交换及人造骨等制品
	密封材料	静密封材料质软，易与接触对偶贴紧，本身不渗漏；动密封材料耐磨，本身不渗漏	热力管道上热胀冷缩球形补偿器的密封件，泵用的硬质合金或精细陶瓷密封环
	摩擦材料	摩擦因数高且稳定，耐短时高温，导热性好，高的能量负荷（摩滑功与摩滑功率的乘积），耐磨，抗卡且不伤对偶	铁基、铜基、半金属及碳基的离合器片及制动带（片）

（续）

类别		主要性能要求	应用举例
工具材料	刀具材料	硬度、高温硬度、强度、韧性、抗切屑黏附性及耐磨性	硬质合金，粉末高速钢，氮化硅、氧化锆等精细陶瓷，硬质合金与金刚石复合材料
	模具及凿岩工具材料	硬度、强度、韧性及耐磨性	高钴（w_{Co} = 15% ~ 25%）硬质合金
	金刚石工具材料	金属胎体的硬度、强度，与金刚石的粘接强度，及金刚石本身的强度	砂轮修整工具，石材加工工具，玻璃加工工具，珩磨工具，拉丝模，切削工具
高温材料	难熔金属及其化合物基合金材料	热强性、冲击韧度及硬度	钨、钼、钽、铌、锆、钛及其碳化物、硼化物、硅化物、氮化物基的高温材料
	弥散强化材料	热强性、抗蠕变能力	铝、铜、银、镍、铬、铁与氧化铝、氧化钇、氧化锆、氧化钍弥散相组成的抗晶粒长大的材料
	精细陶瓷材料	热强性、高温硬度、硬度、耐磨性、抗氧化性及韧性	氮化硅、碳化硅、氮化铝、氧化铝、氧化锆及 SiAlON 等高温结构、耐磨材料、刀具及模具材料
电工材料	触头材料	电导率、耐电弧性	铜－钨、银－钨、铜－石墨等

（续）

类别		主要性能要求	应用举例
电工材料	集电材料	电导率、减摩性及耐电弧性	铜–石墨、银–石墨、铜–碳纤维电刷，铁（或铜）–铅–石墨电气火车受电弓滑板及电车滑块
	电热材料	电阻率、耐高温性能	钨、钼、硅化钼、碳化硅、氮化硅等发热元件、灯丝、极板

4.5 常用工程塑料的性能及应用（表4-34）

表4-34 常用工程塑料的性能及应用

名称	特性	应用举例
硬质聚氯乙烯（PVC）	强度较高，化学稳定性及介电性能优良，耐油性和抗老化性也较好，易熔接及粘合，价格较低。缺点是使用温度低（在60℃以下），线胀系数大，成型加工性不良	制品有管、棒、板、焊条及管件，除作日常生活用品外，主要用作耐腐蚀的结构材料或设备衬里材料（代替有色金属、不锈钢和橡胶）及电气绝缘材料
低压聚乙烯（HDPE）	具有优良的介电性能、耐冲击、耐水性好，化学稳定性高，使用温度可达80～100℃，摩擦性能和耐寒性好。缺点是强度不高，质较软，成型收缩率大	用作一般电缆的包皮，耐腐蚀的管道、阀、泵的结构零件，也可喷涂于金属表面，作为耐磨、减摩及耐蚀涂层

（续）

名称	特性	应用举例
聚丙烯（PP）	是最轻的塑料之一，是屈服、拉伸和压缩强度和硬度均优于低压聚乙烯，有很突出的刚性，高温（90℃）抗应力松弛性能良好，耐热性能较好，可在100℃以上使用，如无外力150℃也不变形，除浓硫酸、浓硝酸外，在许多介质中很稳定，低分子量的脂肪烃、芳香烃、氯化烃，对它有软化和溶胀作用，几乎不吸水，高频电性能不好，成型容易，但收缩率大，低温呈脆性，耐磨性不高	作一般结构零件，作耐蚀化工设备和受热的电气绝缘零件
改性聚苯乙烯（204）	有较好的韧性和一定的冲击强度，透明度优良，化学稳定性、耐水、耐油性能较好，且易于成型	作透明零件，如汽车用各种灯罩和电气零件等
改性聚苯乙烯（203A）	有较高的韧性和冲击强度；耐酸、耐碱性能好，不耐有机溶剂，电气性能优良，透光性好，着色性佳，并易成型	作一般结构零件和透明结构零件以及仪表零件、油浸式多点切换开关、电池外壳等
丙烯腈、丁二烯、苯乙烯（ABS）	具有良好的综合性能，即高的冲击强度和良好的力学性能，优良的耐热、耐油性能和化学稳定性，尺寸稳定、易机械加工，表面还可镀金属，电性能良好	作一般结构或耐磨受力传动零件和耐蚀设备，用ABS制成泡沫夹层板可制作小轿车车身

（续）

名称	特性	应用举例
尼龙 66	疲劳强度和刚性较高，耐热性较好，摩擦因数低，耐磨性好，但吸湿性大，尺寸稳定性不够	适用于中等载荷、使用温度 ≤ 100 ~ 120℃、无润滑或少润滑条件下工作的耐磨受力传动零件
尼龙 6	疲劳强度、刚性、耐热性稍不及尼龙 66，但弹性好，有较好的消振、降低噪声能力。其余同尼龙 66	在轻载荷、中等温度（最高 80 ~ 100℃）、无润滑或少润滑、要求噪声低的条件下工作的耐磨受力传动零件
尼龙 610	强度、刚性、耐热性略低于尼龙 66，但吸湿性较小，耐磨性好	同尼龙 6，宜制作要求比较精密的齿轮，用于湿度波动较大的条件下工作的零件
尼龙 1010	强度、刚性、耐热性均与尼龙 6 和 610 相似，吸湿性低于尼龙 610，成型工艺性较好，耐磨性也好	轻载荷、温度不高、温度变化较大的条件下无润滑或少润滑的情况下工作的零件
单体浇铸尼龙（MC 尼龙）	强度、耐疲劳性、耐热性、刚性均优于尼龙 6 及尼龙 66，吸湿性低于尼龙 6 及尼龙 66，耐磨性好，能直接在模型中聚合成型，宜浇注大型零件	在较高载荷，较高的使用温度（最高使用温度小于 120℃）无润滑或少润滑的条件下工作的零件

（续）

名称	特性	应用举例
聚甲醛（POM）	抗拉强度、冲击强度、刚性、疲劳强度、抗蠕变性能都很高，尺寸稳定性好，吸水性小、摩擦因数低，有很好的耐化学药品能力，性能不亚于尼龙，但价格较低，缺点是加热易分解，成型比尼龙困难	可用作轴承、齿轮、凸轮、阀门、管道螺母、泵叶轮、车身底盘的小部件、汽车仪表板、化油器、箱体、容器、杆件以及喷雾器的各种代铜零件
聚碳酸酯（PC）	具有突出的冲击强度和抗蠕变性能，有很高的耐热性，耐寒性也很好，脆性温度达－100℃，抗弯、抗拉强度与尼龙等相当，并有较高的伸长率和弹性模量，但疲劳强度小于尼龙66，吸水性较低，收缩率小，尺寸稳定性好，耐磨性与尼龙相当，并有一定的抗腐蚀能力。缺点是成型条件要求较高	可用作各种齿轮、蜗轮、齿条、凸轮、轴承、心轴、滑轮、传送链、螺母、垫圈、泵叶轮、灯罩、容器、外壳、盖板等
聚酚氧	具有良好的力学性能，高的刚性、硬度和韧性。冲击强度可与聚碳酸酯相比，抗蠕变性能与大多数热塑性塑料相比属于优等，吸水性小，尺寸稳定，成型精度高，一般推荐的最高使用温度为77℃	适用于精密的、形状复杂的耐磨受力传动零件，仪表、计算机等零件

（续）

名称	特性	应用举例
聚四氟乙烯（PTFE、F－4）	具有优异的化学稳定性，与强酸、强碱或强氧化剂均不起作用，有很高的耐热性，耐寒性，使用温度为－180～250℃，摩擦因数很低，是极好的自润滑材料。缺点是力学性能较低，刚性差有冷流动性，热导率低，热膨胀大，耐磨性不高（可加入填充剂，适当改善），需采用预压烧结的方法，成型加工费用较高	主要用作耐化学腐蚀、耐高温的密封元件，如填料、衬垫、胀圈、阀座、阀片，也用作输送腐蚀介质的高温管道，耐蚀衬里，容器以及轴承、导轨、无油润滑活塞环、密封圈等。其分散液可以作涂层及浸渍多孔制品
填充聚四氟乙烯（PTFE）	用玻璃纤维粉末、二硫化钼、石墨、氧化镉、硫化钨、青铜粉、铅粉等填充的聚四氟乙烯，在承载能力、刚性、*pv* 极限值等方面都有不同的提高	用于高温或腐蚀性介质中工作的摩擦零件，如活塞环等
酚醛塑料（PF）	力学性能很高，刚性大，冷流性小，耐热性很高（100℃以上），在水润滑下摩擦因数极低（0.01～0.3），*pv* 值很高，有良好的电性能和抵抗酸碱侵蚀的能力，不易因温度和湿度的变化而变形，成型简便，价格低廉。缺点是性质较脆、色调有限，耐光性差，耐电弧性较小，不耐强氧化性酸的腐蚀	常用的为层压酚醛塑料和粉末状压塑料，有板材、管材及棒材等。可用作农用潜水电泵的密封件和轴承、轴瓦、带轮、齿轮、制动装置和离合装置的零件、摩擦轮及电器绝缘零件等
环氧树脂塑料（EP）	具有较高的强度，良好的化学稳定性和电绝缘性能，成型收缩率小，成型简便	制造金属拉深模、压形模、铸造模，各种结构零件以及用来修补金属零件及铸件

第 5 章　常用切削工具和磨具

5.1　常用切削工具

5.1.1　常用刀具材料

1. 各种高速钢牌号及适用范围（表 5-1）

表 5-1　各种高速钢牌号及适用范围

牌号	硬度 HRC	抗弯强度 /GPa	冲击韧度 /(MJ/m^2)	600℃时的硬度 HRC	主要性能和适用范围
W18Cr4V	63 ~ 66	3.0 ~ 3.4	0.18 ~ 0.32	48.5	综合性能好，通用性强，磨削性好，适于制造加工轻合金、碳素钢、合金钢、普通铸铁的精加工刀具和复杂刀具，如螺纹车刀、成形车刀、拉刀等
W6Mo5Cr4V2	63 ~ 66	3.5 ~ 4.0	0.30 ~ 0.40	47 ~ 48	强度和韧性略高于 W18Cr4V，热硬性略低于 W18Cr4V，热塑性好，适于制造加工轻合金、碳钢、合金钢的热成形刀具以及承受冲击、结构薄弱的刀具

（续）

牌号	硬度HRC	抗弯强度/GPa	冲击韧度/（MJ/m^2）	600℃时的硬度HRC	主要性能和适用范围
W14Cr4V-MnRE	64~66	~4.0	0.31	50.5	可加工性与W18Cr4V相当，热塑性好，适于制作热轧刀具
W9Mo3Cr4V	65~66.5	4.0~4.5	0.35~0.40		刀具寿命比W18Cr4V和W6Mo5Cr4V2有一定程度提高，适于加工普通轻合金、钢材和铸铁
9W18Cr4V	66~68	3.0~3.4	0.17~0.22	51	属高碳高速钢，常温硬度和高温硬度有所提高，适用于制造加工普通钢材和铸铁、耐磨性要求较高的钻头、铰刀、丝锥、铣刀和车刀等或加工较硬材料（220~250HBW）的刀具，但不宜承受大的冲击
9W6Mo5-Cr4V2	67~68	3.5	0.13~0.26	52.1	

（续）

牌号	硬度HRC	抗弯强度/GPa	冲击韧度/(MJ/m²)	600℃时的硬度HRC	主要性能和适用范围
W12Cr4V4Mo	66~67	~3.2	~0.1	52	属高钒高速钢，耐磨性很好，适合切削对刀具磨损极大的材料，如纤维、硬橡胶、塑料等，也用于加工不锈钢、高强度钢和高温合金等，效果也很好
W6Mo5Cr4V3	65~67	~3.2	~0.25	51.7	
W2Mo9Cr4V-Co8	67~69	2.7~3.8	0.23~0.30	55	属钴超硬高速钢，有很高的常温和高温硬度，适合加工高强度耐热钢、高温合金、钛合金等难加工材料。W2Mo9Cr4VCo8可磨性好，适于制作精密复杂刀具，但不宜在冲击切削条件下工作
W10Mo5Cr4-V3Co10	67~69	~2.35	~0.1	55.5	
W7Mo4Cr4V2-Co5	67~69	2.5~3.0	0.23~0.30	54	属美国生产的M40系列，使用范围与W2Mo9Cr4VCo8类同

（续）

牌号	硬度 HRC	抗弯强度 /GPa	冲击韧度 /（MJ/m^2）	600℃时的硬度 HRC	主要性能和适用范围
W12Cr4V5-Co5	66~68	~3.0	~0.25	54	常温硬度和耐磨性都很好，600℃高温硬度接近 W2Mo9Cr4VCo8 钢，适用于加工耐热不锈钢、高温合金、高强度钢等难加工材料，适合制造钻头、滚刀、拉刀、铣刀等
W6Mo5Cr4-V2Co8	66~68	~3.0	~0.3	54	
W12Mo3Cr4-V3Co5Si	67~69	2.4~3.3	0.11~0.22	54	
W6Mo5Cr4-V2Al	67~69	2.9~3.9	0.23~0.3	55	属含铝超硬高速钢，可加工性相当于 W2Mo9Cr4VCo8，宜于制造铣刀、钻头、铰刀、齿轮刀具和拉刀等，用于加工合金钢、不锈钢、高强度钢和高温合金等
W10Mo4Cr4-V3Al	67~69	3.1~3.5	0.20~0.28	54	

（续）

牌号	硬度 HRC	抗弯强度 /GPa	冲击韧度 /（MJ /m^2）	600℃时的硬度 HRC	主要性能和适用范围
W12Mo3Cr4-V3N	67 ~ 69	2.0 ~ 3.5	0.15 ~ 0.30	55	含氮超硬高速钢，硬度、强度、韧性与 W2Mo9Cr4VCo8 相当，可作为含钴钢的代用品，用于低速切削难加工材料和低速高精加工
W6Mo5Cr4V5-SiNbAl	66 ~ 68	3.6 ~ 3.9	0.26 ~ 0.27	51	属含 SiNbAl 超硬高速钢，W6Mo5Cr4V5SiNbAl 强度和韧性较好，用于加工不锈钢，耐热钢、高强钢，W18Cr4V4SiNbAl 硬度很高，可加工高温合金、奥氏体不锈钢及 40 ~ 50HRC 以下的淬火工件
W18Cr4V4Si-NbAl	67 ~ 69	2.3 ~ 2.5	0.11 ~ 0.22	51	
W12Mo3Cr4-V3SiNbAl	66 ~ 68	2.6 ~ 2.9	0.26 ~ 0.27	51	

注：1. 本表由于资料来源并非在同一条件下试验，数字仅作参考。
2. 表中所列性能参数，均指淬火处理以后。

2. 常用硬质合金的使用范围（表5-2）

表5-2　常用硬质合金的使用范围

牌号	使 用 性 能	使 用 范 围
YG3	在YG类合金中，耐磨性仅次于YG3X、YG6A，能使用较高的切削速度，但对冲击和振动比较敏感	适用于铸铁、有色金属及其合金、非金属材料（橡胶、纤维、塑料、板岩、玻璃、石墨电极等）连续精车及半精车
YG3X	属细晶粒合金，是YG类合金中耐磨性最好的一种，但冲击韧度较差	适用于铸铁、有色金属及其合金的精车、精镗等，也可适用于淬硬钢及钨、钼材料的精加工
YG6	耐磨性较高，但低于YG6X、YG3X及YG3	适用于铸铁、有色金属及其合金、非金属材料连续切削时的粗车，间断切削时的半精车、精车，连续断面的半精铣与精铣
YG6X	属细晶粒合金，其耐磨性较YG6高，而使用强度接近YG6	适用于冷硬铸铁、合金铸铁、耐热钢的加工，也适于普通铸铁的精加工，并可用于制造仪器仪表工业用的小型刀具和小模数滚刀
YG8	使用强度较高，抗冲击和抗振动性能较YG6好，耐磨性和允许的切削速度较低	适用于铸铁、有色金属及其合金、非金属材料的粗加工

（续）

牌号	使用性能	使用范围
YG8C	属粗晶粒合金，使用强度较高，接近于 YG11	适用于重载切削下的车刀、刨刀等
YG6A（YA6）	属细晶粒合金，耐磨性和使用强度与 YG6X 相似	适用于硬铸铁、灰铸铁、球墨铸铁、有色金属及其合金、耐热合金钢的半精加工，也可用于高锰钢、淬硬钢及合金钢的半精加工和精加工
YT5	在 YT 类合金中，强度最高，抗冲击和抗振动性能最好，但耐磨性较差	适用于碳钢及合金钢不连续面的粗车、粗刨、半精刨、粗铣、钻孔等
YT14	使用强度高，抗冲击和抗振动性能好，但较 YT5 稍差，耐磨性及允许的切削速度较 YT5 高	适用于碳钢和合金钢的粗车，间断切削时的半精车和精车，连续面的粗铣等
YT15	耐磨性优于 YT14，但抗冲击性能较 YT14 差	适用于碳钢与合金钢加工中连续切削时的粗车、半精车及精车，间断切削时的断面精车，连续面的半精铣与精铣等

（续）

牌号	使 用 性 能	使 用 范 围
YT30	耐磨性及允许的切削速度较 YT15 高，但使用强度及冲击韧度较差，焊接及刃磨损易产生裂纹	适用于碳钢及合金钢的精加工，如小断面精车、精镗、精扩等
YW1	扩展了 YT 类合金的使用性能，能承受一定的冲击负荷，通用性较好	适用于耐热钢、高锰钢、不锈钢等难加工材料的精加工，也适合一般钢材和铸铁及有色金属的精加工
YW2	耐磨性稍次于 YW1 合金，但使用强度较高，能承受较大的冲击负荷	适用于耐热钢、高锰钢、不锈钢及高级合金钢等难加工钢材的精加工、半精加工，也适合一般钢材和铸铁及有色金属的加工
YN10	耐磨性和耐热性好，硬度与 YT30 相当，强度比 YT30 稍高，焊接性能及刃磨性能较 YT30 为好	适用于碳素钢、合金钢、不锈钢、工具钢及淬硬钢的连续面精加工，对于较长件和表面粗糙度值要求小的工件，加工效果尤佳
YN05	硬度和耐热性是硬质合金中最高者，耐磨性接近陶瓷，但抗冲击和抗振动性能差	适用于钢、淬硬钢、合金钢、铸钢和合金铸铁的高速精加工，工艺系统刚性特别好的细长件的精加工

3. 国产涂层刀片的部分牌号及推荐用途（表5-3）

表5-3　国产涂层刀片的部分牌号及推荐用途

牌号	基体材料	涂层厚度/μm	相当ISO	性能及推荐用途
CN15	YW1	4～9	M10～M20 P05～P20 K05～K20	基体耐磨性好，韧性稍差，适用于各种钢的连续切削和精加工，也可用于铸铁及有色金属精加工
CN25	YW2	4～9	M10～M20 K10～K30	基体韧性适中，适用于钢件精加工及半精加工，也可加工铸铁和有色金属
CN35	YT5	4～9	P20～P40 K20～K40	基体韧性较好，适用于钢材粗加工、间断切削和强力切削
CN16	YG6	4～9	M05～M20 K05～K20	适用于铸铁、有色金属及其合金精加工
CN26	YG8	4～9	M10～M20 K20～K30	适用于铸铁、有色金属及其合金半精加工及粗加工
CA15	特制专用基体	4～8	M05～M20 K05～K20	适用于铸铁、有色金属及其合金精加工和半精加工

（续）

牌号	基体材料	涂层厚度/μm	相当ISO	性能及推荐用途
CA25	特制专用基体	4～8	M10～M30 K20～K30	适用于铸铁、有色金属及其合金半精加工及粗加工
YB115（YB21）	特制专用基体	5～8	K05～K25	适用于铸铁和其他短切屑材料的粗加工
YB125（YB02）	特制专用基体	5～8	K05～K20 P10～P40	具有很好的耐磨性和抗塑性变形能力，宜在高速下精加工、半精加工钢、铸钢、锻造不锈钢及铸铁
YB135（YB11）	特制专用基体	5～8	P25～P45 M15～M30	粗车钢和铸钢，钻削钢、铸钢、可锻铸铁、球铁、锻造奥氏体不锈钢等
YB215（YB01）	特制专用基体	4～9	P05～P35 M10～M25 K05～K20	耐磨性和通用性很好，主要用于精加工和半精加工各种工程材料
YB415（YB03）	特制专用基体	4～9	P05～P30 M05～M25 K05～K20	耐磨性和通用性很好，适于高速切削铸铁、钢和铸钢以及锻造不锈钢等

（续）

牌号	基体材料	涂层厚度/μm	相当 ISO	性能及推荐用途
YB435	特制专用基体	4～9	P15～P45 M10～M30 K05～K25	适于精加工和半精加工钢和铸钢等材料，在不良条件下宜采用中等切削速度和进给量
ZC01	YT15	5～10	P10～P20 K05～K20	涂层 TiN，抗月牙洼磨损好，适用于碳钢、合金钢铸铁等材料的精加工和半精加工
ZC02	YT14	5～10	P05～P20 M10～M20 K04～K20	TiC/TiN 复合涂层，具有 TiN 涂层抗月牙洼磨损好和 TiC 涂层抗后面磨损好的优点，适用于碳钢、合金钢的精加工和半精加工
ZC65	YT5	5～10	P05～P25 M05～M20	TiC/Al_2O_3 复合涂层，与基体结合牢，抗氧化能力高，耐磨、耐蚀，适用于多种钢材、铸铁的精加工和半精加工
ZC08	YG6 YG8	5～10	P20～P35 K15～K30	HfN 涂层，寿命高，通用性好，适用于各种钢材，铸铁在高、中、低速下精加工和半精加工

注：表中（　　　）为旧标准。

5.1.2 车刀

1. 车刀切削部分几何角度及其选择

（1）车刀切削部分几何角度　车刀切削部分的组成如图5-1所示。

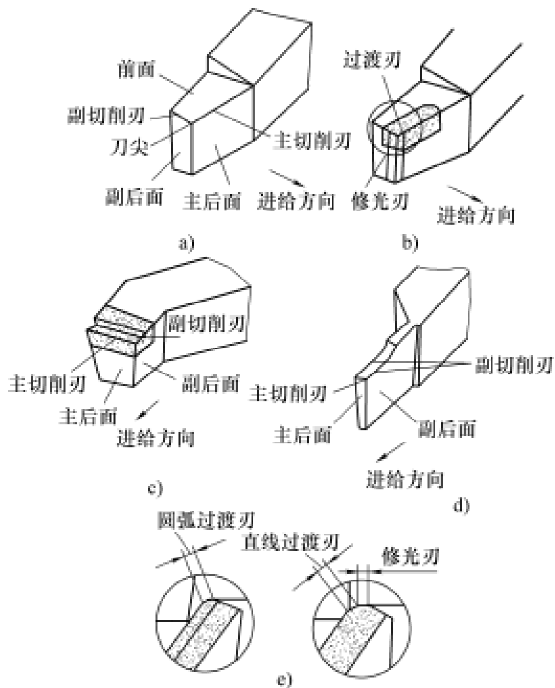


图5-1　车刀切削部分的组成

1）前面：刀具上切屑流出的表面。

2）后面：与工件上切削中产生的表面相对的表面。

3）主后面：刀具上同前面相交形成主切削刃的后面。

4）副后面：刀具上同前面相交形成副切削刃的后面。

5）切削刃：刀具前面上拟作切削用的刃。

6）主切削刃：起始于切削刃上主偏角为零的点，并至少有一段切削刃拟用来在工件上切出过渡表面的那个整段切削刃。

7）副切削刃：切削刃上除主切削刃以外的刃。

8）刀尖：主切削刃与副切削刃的连接处相当少的一部分切削刃。

（2）确定刀具角度的三个辅助平面名称和定义

1）切削平面：切削刃上任一点的切削平面是通过该点和工件切削表面相切的平面（图 5-2）。

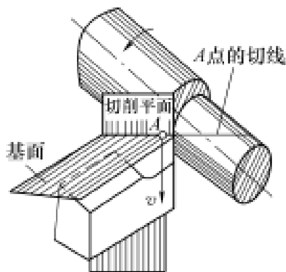


图 5-2　切削平面和基面

2）基面：切削刃上任一点的基面是通过该点并垂直于该点切削速度方向的平面（图 5-2）。

切削刃上同一点的基面与切削平面一定是互相垂直的。

3）正交平面：切削刃上任一点的正交平面是通过这一点，并同时垂直于基面和切削平面的平面（图 5-3）。

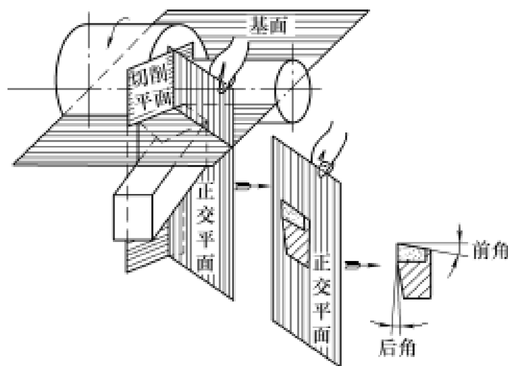
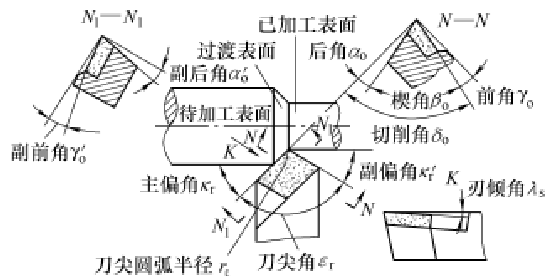


图 5-3　正交平面

（3）刀具的切削角度及其作用（表 5-4）

表 5-4　刀具的切削角度及其作用



（续）

名称	代号	位置和作用
前角	γ_o	前面经过主切削刃与基面的夹角，在正交平面内测出。它影响切屑变形和切屑与前面的摩擦及刀具强度
副前角	γ_o'	前面经过副切削刃与基面的夹角，在副截面内测出
后角	α_o	主后面与切削平面的夹角，在正交平面内测出，用来减少主后面与工件的摩擦
副后角	α_o'	副后面与通过副切削刃并垂直于基面的平面之间的夹角，在副截面内测出，用来减少副后面与已加工表面的摩擦
主偏角	κ_r	主切削刃与被加工表面（进给方向）之间的夹角。当背吃刀量和进给量一定时，改变主偏角可以使切屑变薄或变厚，影响散热情况和切削力的变化
副偏角	κ_r'	副切削刃与已加工表面（进给方向）之间的夹角，它可以避免副切削刃与已加工表面摩擦，影响已加工表面的表面粗糙度
过渡偏角	ϕ_o	过渡切削刃与被加工表面（进给方向）之间的夹角，用来增加刀尖强度
刃倾角	λ_s	主切削刃与基面之间的夹角，它可以控制切屑的流出方向，增加切削刃强度并能使切削力均匀
楔角	β_o	前面与主后面之间的夹角，在正交平面内测出。它影响刀头截面的大小
切削角	δ_o	前面和切削平面间的夹角，在正交平面内测出
刀尖角	ε_r	主切削刃与副切削刃在基面上投影的夹角，它影响刀头强度和导热能力
倒棱	f	在前面切削刃上的狭窄平面，用来增加切削刃强度

（4）刀具角度的合理选择

1）刀具角度的选择见表5-5。

2）高速钢车刀前角及后角的参考值见表5-6。

3）硬质合金车刀前角及后角的参考值见表5-7。

4）倒棱前角及倒棱宽度参考值见表5-8。

5）合理主偏角和副偏角参考值见表5-9。

6）车削时合理刃倾角参考值见表5-10。

表5-5　刀具角度的选择

名称	作　用	选用原则
前角 γ_o	1）加大前角，刀具锐利，减小切屑的变形 2）加大前角可减小切屑在前刀面的摩擦 3）加大前角可抑制或消除积屑瘤，降低径向切削分力 4）减小前角可增强刀尖强度	1）加工硬度高，机械强度大及脆性材料时，应取较小的前角 2）加工硬度低、机械强度小及塑料材料时，应取较大的前角 3）粗加工应取较小的前角，精加工应取较大的前角 4）刀具材料韧性差时前角应取小些，刀具材料韧性好时前角应大些 5）机床、夹具、工件、刀具系统刚性差，应取较大的前角

（续）

名称	作　　用	选 用 原 则
后角 α_o	1）减小刀具后面与工件过渡表面和已加工表面间的摩擦 2）当前角确定之后，后角越大，刃口越锋利，但相应减小楔角影响刀具强度和散热面积	1）加工硬度高、机械强度大及脆性材料时，应取较小的后角 2）加工硬度低、机械强度小及塑性材料时，应取较大的后角 3）粗加工应取较小后角，精加工应取较大后角 4）采用负前角车刀，后角应取大些 5）工件与车刀的刚性差时应取较小的后角
主偏角 κ_r	1）在进给量 f 和背吃刀量 a_p 相同的情况下，改变主偏角大小可以改变主刀刃参加切削工作的宽度 a_w 及切削厚度 a_c 2）改变主偏角大小，可以改变背向力和进给力之间的比例，以适应不同机床、工件、夹具的刚性	1）工件材料硬应选取较小的主偏角 2）刚性差的工件（如细长轴）应增大主偏角，减小背向力 3）在机床、夹具、工件、刀具系统刚性较好的情况下，主偏角应尽可能选小些 4）主偏角应根据工件形状选取，台阶轴 $\kappa_r=90°$，中间切入工件 $\kappa_r=60°$

（续）

名称	作　　用	选 用 原 则
副偏角 κ_r'	1）减小副切削刃与工件已加工表面之间的摩擦 2）改善工件表面粗糙度和刀具的散热面积，提高刀具寿命	1）机床夹具、工件、刀具系统刚性好，可选较小的副偏角 2）精加工刀具应取较小的副偏角 3）加工细长轴工件时取较大的副偏角 4）加工中间切入的工件 $\kappa_r' = 60°$
刃倾角 λ_s	1）可以控制切屑流出的方向 2）增强切削刃的强度，λ_s 为负值时强度好，λ_s 为正值时强度差 3）使切削刃逐渐切入工件，切削力均匀，切削过程平稳	1）精加工时刃倾角应取正值，粗加工时刃倾角应取负值 2）断续切削时刃倾角应取负值 3）机床、夹具、工件、刀具系统刚性较好时，刃倾角可加大负值，反之增大刃倾角

（续）

名称	作　用	选用原则
过渡切削刃	提高刀尖的强度，改善散热条件	1）圆弧过渡切削刃多用于车刀、刨刀等单刃刀具上。高速钢车刀刀尖圆弧半径 r_ε = 0.5～5mm，硬质合金车刀刀尖圆弧半径 r_ε =0.5～2mm 2）直线形过渡切削刃多用于切削刃形状对称的切断刀和多刃刀具，直线形过渡切削刃长度一般为0.5～2mm 3）直线形过渡切削刃的偏角一般为主偏角的1/2
修光切削刃	能减小车削后的残留面积，降低工件表面粗糙度，修光切削刃的长度一般为（1.2～1.5）f	在机床、夹具、工件、刀具系统刚性较好的情况下，采用修光切削刃能取得好的效果

表5-6　高速钢车刀前角及后角的参考值

工件材料		前角 γ_o/(°)	后角 α_o/(°)
钢和铸钢	R_m =400～500MPa	20～25	8～12
	R_m =700～1200MPa	5～10	5～8
镍铬钢和铬钢 R_m =700～800MPa		5～15	5～7
灰铸铁	160～180HBW	12	6～8
	220～260HBW	6	6～8

（续）

工件材料		前角 γ_o/(°)	后角 α_o/(°)
可锻铸铁	140～160HBW	15	6～8
	170～190HBW	12	6～8
铜、铝、巴氏合金		25～30	8～12
中硬青铜及黄铜		10	8
硬青铜		5	6
钨		20	15
铌		20～25	12～15
钼合金		30	10～12
镁合金		25～35	10～15

表 5-7　硬质合金车刀前角及后角的参考值

工件材料		前角 γ_o/(°)	后角 α_o/(°)
结构钢、合金钢及铸钢	$R_m \leqslant 800$MPa	10～15	6～8
	$R_m = 800 \sim 1000$MPa	5～10	6～8
高强度钢及表面有夹杂的铸钢，$R_m > 1000$MPa		−5～−10	6～8
不锈钢		15～30	8～10
耐热钢，$R_m = 700 \sim 1000$MPa		10～12	8～10
变形锻造高温合金		5～10	10～15
铸造高温合金		0～5	0～15
钛合金		5～15	10～15
淬火钢 40HRC 以上		−5～−10	8～10
高锰钢		−5～5	8～12
铬锰钢		−2～−5	8～10

（续）

工件材料	前角 γ_o/（°）	后角 α_o/（°）
灰铸铁、青铜、脆性黄铜	5～15	6～8
韧性黄铜	15～25	8～12
纯铜	25～35	8～12
铝合金	20～30	8～12
纯铁	25～35	8～10
纯钨铸锭	5～15	8～12
纯钨铸锭及烧结钼棒	15～35	6

表 5-8　倒棱前角及倒棱宽度参考值

刀具材料	工件材料	倒棱前角 γ_{c1}/（°）	倒棱宽度 f/mm
高速钢	结构钢	0～5	0.8～1.0
硬质合金	低碳钢、不锈钢	−5～−10	≤0.5
	中碳钢、合金钢	−10～−15	0.3～0.8
	灰铸铁	−5～−10	≤0.5

表 5-9　合理主偏角和副偏角参考值

加工情况	加工冷硬铸铁、高锰钢等高硬度、高强度材料，且工艺系统刚度好	工艺系统刚度较好，加工外圆及端面，能中间切入	工艺系统刚度较差，粗加工，强力切削	工艺系统刚度差，车台阶轴、细长轴、薄壁件	车断、车槽
主偏角 κ_r	10°～30°	45°	60°～75°	75°～93°	≥90°
副偏角 κ_r'	10°～5°	45°	15°～10°	10°～5°	1°～2°

表 5-10　车削时合理刃倾角参考值

适用范围	精车细长轴	精车有色金属	粗车一般钢和铸铁	粗车余量不均、淬硬钢等	冲击较大的断续车削
λ_s	0°～5°	5°～10°	0°～－5°	－5°～－10°	－5°～－15°

2. 高速钢车刀条（表 5-11）

3. 焊接车刀

（1）硬质合金外表面车刀　硬质合金外表面车刀共有 11 种类型，其形式及规格尺寸见表 5-12。

（2）硬质合金内表面车刀　硬质合金内表面车刀共有 6 种类型，其形式及规格尺寸见表 5-13。

（3）常用焊接车刀刀片（表 5-14）

表 5-11　高速钢车刀条（GB/T 4211.1—2004）

（单位：mm）

类型	图　　示	规格范围
正方形	h b L	$h\times b\times L$ $4\times4\times63$ ～ $25\times25\times200$

（续）

类型	图　　示	规格范围
矩形	h b L	$h \times b \times L$ $6 \times 4 \times 100$ ~ 25×12 $\times 200$
圆形	d L	$d \times L$ 4×63 ~ 20×200
不规则四边形	b b/2 h 15° $^{0}_{-30'}$ 4° 0.6±0.2 15° L 15°	$h \times b \times L$ $12 \times 3 \times 85$ ~ 25×6 $\times 250$

表 5-12　硬质合金外表面车刀形式及规格尺寸（单位：mm）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
70°外圆车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
45°端面车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
95°外圆车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim45$ $h_1=10\sim50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
切槽车刀		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim32$ $h_1=10\sim50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
90°端面车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
90°外圆车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
A 型切断车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim32$ $h_1=10\sim50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
B 型切断车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim32$ $h_1=10\sim50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
75°外圆车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
外螺纹车刀		$L = 90 \sim 240$ $h = 10 \sim 50$ $b = 10 \sim 32$ $h_1 = 10 \sim 50$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
带 轮 车刀	3°±1° h_1 b_1 h 8°±1° L 8°±1° b_1 B 36° b 8°±1° b_1	$L = 100 \sim 240$ $h = 12 \sim 50$ $b = 12 \sim 35$ $h_1 = 12 \sim 50$

表 5-13　硬质合金内表面车刀形式及规格尺寸（单位：mm）

名称	车刀类型	主要尺寸范围
75°内孔车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$ $D_{min}=14\sim52$
95°内孔车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$ $D_{min}=14\sim52$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
90°内孔车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$ $D_{\min}=14\sim52$
45°内孔车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$ $D_{\min}=14\sim52$

（续）

名称	车 刀 类 型	主要尺寸范围
内螺纹车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$ $D_{min}=6.4\sim25.6$
内孔切槽车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$ $D_{min}=3.5\sim10.5$

注：D_{min}为加工孔的最小直径。

表 5-14　常用焊接车刀刀片（YS/T 253—1994）

（单位：mm）

	型号	基本尺寸			
		l	t	s	r
A型	A5	5	3	2	2
	A6	6	4	2. 5	2. 5
	A8	8	5	3	3
	A10	10	6	4	4
	A12	12	8	5	5
	A16	16	10	6	6
	A20	20	12	7	7
	A25	25	14	8	8
	A32	32	18	10	10
	A40	40	22	12	12
	A50	50	25	14	14

	型号	基本尺寸			
		l	t	s	r
B型	B5	5	3	2	2
	B6	6	4	2. 5	2. 5
	B8	8	5	3	3
	B10	10	6	4	4
	B12	12	8	5	5
	B16	16	10	6	6
	B20	20	12	7	7
	B25	25	14	8	8
	B32	32	18	10	10
	B40	40	22	12	12
	B50	50	25	14	14

（续）

	型号	基本尺寸			
		l	*t*	*s*	*r*
C型	C5	5	3	2	—
	C6	6	4	2. 5	—
	C8	8	5	3	—
	C10	10	6	4	—
	C12	12	8	5	—
	C16	16	10	6	—
	C20	20	12	7	—
	C25	25	14	8	—
	C32	32	18	10	—
	C40	40	22	12	—
	C50	50	25	14	—

	型号	基本尺寸			
		l	*t*	*s*	*r*
D型	D3	3. 5	8	3	—
	D4	4. 5	10	4	—
	D5	5. 5	12	5	—
	D6	6. 5	14	6	—
	D8	8. 5	16	8	—
	D10	10. 5	18	10	—
	D12	12. 5	20	12	—

（续）

型号	基本尺寸			
	l	*t*	*s*	*r*
E4	4	10	2.5	—
E5	5	12	3	—
E6	6	14	3.5	—
E8	8	16	4	—
E10	10	18	5	—
E12	12	20	6	—
E16	16	22	7	—
E20	20	25	8	—
E25	25	28	9	—
E32	32	32	10	—

4. 可转位车刀

（1）优先采用的类型和尺寸　优先采用的可转位车刀共有 29 种，其类型和尺寸范围见表 5-15。

表 5-15　优先采用的可转位车刀（GB/T 5343.2—2007）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		(h/mm)×(h_1/mm)×(b/mm)×(l_1/mm)	右切车刀	左切车刀
装 C 型刀片的 90° 直头外圆车刀		8×8×8×60 ~10×10×10×70	2	2
装 T 型刀片的 90° 直头外圆车刀		12×12×12×80 ~40×40×40×200	7	7

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		(h/mm)×(h_1/mm)×(b/mm)×(l_1/mm)	右切车刀	左切车刀
装 C 型刀片的 75° 直头外圆车刀		8×8×8×60 ~12×12×12×80	3	3
装 S 型刀片的 75° 直头外圆车刀		16×16×16×100 ~50×50×50×250	14	14

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		(h/mm) × (h_1/mm) × (b/mm) × (l_1/mm)	右切车刀	左切车刀
装 S 型刀片的 45° 直头外圆车刀		12 × 12 × 12 × 80 ~ 32 × 32 × 32 × 170	6	
装 T 型刀片的 60° 直头外圆车刀		20 × 20 × 20 × 125 ~ 40 × 40 × 32 × 200	8	

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		$(h/\text{mm})\times(h_1/\text{mm})\times(b/\text{mm})\times(l_1/\text{mm})$	右切车刀	左切车刀
装 C 型刀片的 90° 偏头端面车刀		8×8×8×60 ~10×10×10×70	2	2
装 T 型刀片的 90° 偏头端面车刀		12×12×12×80 ~40×40×40×200	14	14

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		$(h/\text{mm})\times(h_1/\text{mm})\times(b/\text{mm})\times(l_1/\text{mm})$	右切车刀	左切车刀
装 C 型刀片的 90° 偏头外圆车刀		8×8×8×60 ~10×10×10×70	2	2
装 T 型刀片的 90° 偏头外圆车刀		12×12×12×80 ~50×50×50×250	16	16

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		(h/mm)×(h_1/mm)×(b/mm)×(l_1/mm)	右切车刀	左切车刀
装 F 型刀片的 90° 偏头外圆车刀		20×20×20×125 ~50×50×50×250	13	13
装 W 型刀片的 90° 偏头外圆车刀		20×20×20×125 ~40×40×40×200	12	12

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		（h/mm）×（h_1/mm）×（b/mm）×（l_1/mm）	右切车刀	左切车刀
装 D 型刀片的 107.5°偏头外圆车刀		10×10×10×70 ~32×32×25×170	8	8
装 D 型刀片的 93°偏头外圆车刀		8×8×8×60 ~40×40×32×200	10	10

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		$(h/\text{mm})\times(h_1/\text{mm})\times(b/\text{mm})\times(l_1/\text{mm})$	右切车刀	左切车刀
装 T 型刀片的 93° 偏头外圆车刀		20×20×20×125 ~40×40×32×200	7	7
装 C 型刀片的 93° 偏头外圆车刀		25×25×20×150 ~40×40×32×200	8	8

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		(h/mm)×(h_1/mm)×(b/mm)×(l_1/mm)	右切车刀	左切车刀
装 C 型刀片的 75° 偏头端面车刀		8 ×8 ×8 ×60 ~10 ×10 ×10 ×70	2	2
装 S 型刀片的 75° 偏头端面车刀		12 ×12 ×12 ×80 ~40 ×40 ×40 ×200	19	19

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		$(h/\mathrm{mm})\times(h_1/\mathrm{mm})\times(b/\mathrm{mm})\times(l_1/\mathrm{mm})$	右切车刀	左切车刀
装 C 型刀片的 95°偏头外圆及端面车刀		8×8×8×60 ~40×40×40×200	12	12
装 V 型刀片的 95°偏头外圆车刀		20×20×20×125 ~32×32×25×170	3	3

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		$(h/\mathrm{mm})\times(h_1/\mathrm{mm})\times(b/\mathrm{mm})\times(l_1/\mathrm{mm})$	右切车刀	左切车刀
装 W 型刀片的 50°直头外圆车刀		20 × 20 × 20 × 125 ~40 × 40 × 32 × 200	9	
装 D 型刀片的 63°直头外圆车刀		8 × 8 × 8 × 60 ~40 × 40 × 32 × 150	9	9

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		（h/mm）×（h_1/mm）×（b/mm）×（l_1/mm）	右切车刀	左切车刀
装 T 型刀片的 63° 直头外圆车刀		25×25×25×150～40×40×32×150	6	6
装 S 型刀片的 75° 偏头外圆车刀		12×12×12×80～50×50×50×250	21	21

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		（h/mm）×（h_1/mm）×（b/mm）×（l_1/mm）	右切车刀	左切车刀
装 C 型刀片的 45° 偏头外圆车刀		8×8×8×60 ~10×10×10×70	2	2
装 R 型刀片的 45° 偏头外圆车刀		20×20×20×125 ~40×40×40×200	11	11

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		(h/mm)×(h_1/mm)×(b/mm)×(l_1/mm)	右切车刀	左切车刀
装 S 型刀片的 45° 偏头外圆车刀		12×12×12×80 ~50×50×50×250	16	16
装 T 型刀片的 60° 偏头外圆车刀		12×12×12×80 ~40×40×40×200	13	13

（续）

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围	规格品种数	
		$(h/\mathrm{mm})\times(h_1/\mathrm{mm})\times(b/\mathrm{mm})\times(l_1/\mathrm{mm})$	右切车刀	左切车刀
装V型刀片的72.5°直头外圆车刀		20×20×20×125 ~32×32×25×170	3	

注：可转位车刀分普通级和精密级两种，这里只介绍普通级的规格尺寸。

（2）可转位内孔车刀　可转位内孔车刀刀杆有圆形截面、正方形截面和矩形截面三种。可转位内孔车刀的类型和尺寸范围见表5-16。

表 5-16　可转位内孔车刀

圆形截面刀杆			
车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围 (d/mm)×(h_1/mm)×(L/mm)×(f/mm)×(D_{min}/mm)	规格品种数
装 C 型刀片的 90° 车刀		10 ×5 ×100 ×7 ×13 ~60 ×30 ×400 ×43 ×80	9
装 T 型刀片的 90° 车刀		10 ×5 ×100 ×7 ×13 ~60 ×30 ×400 ×43 ×80	9

（续）

圆形截面刀杆			
车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围 $(d/\mathrm{mm})\times(h_1/\mathrm{mm})\times(L/\mathrm{mm})\times(f/\mathrm{mm})\times(D_{\min}/\mathrm{mm})$	规格品种数
装 S 型刀片的 75°车刀		16×8×150×11×20 ~60×30×400×43×80	7
装 C 型刀片的 95°车刀		10×5×100×7×13 ~60×30×400×43×80	9

（续）

圆形截面刀杆			
车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围 (d/mm)×(h_1/mm)×(L/mm)×(f/mm)×(D_{min}/mm)	规格品种数
装 D 型刀片的 93°车刀	H D_{min} 93°±1° 55° l d f h_1 L	12×6×125×9×16 ~60×30×400×43×80	8

（续）

正方形截面刀杆			
车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围 （H/mm）×（h_1/mm）×（B/mm）×（L/mm）×（D_{min}/mm）	规格品种数
装 C 型刀片的 90° 车刀		12×8×12×125×25 ~50×34×50×350 ×100	7
装 T 型刀片的 90° 车刀		12×8×12×125×25 ~50×34×50×350 ×100	7

（续）

正方形截面刀杆			
车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围 （H/mm）×（h_1/mm）×（B/mm）×（L/mm）×（D_{min}/mm）	规格品种数
装 S 型刀片的 75°车刀		16×11×16×150×32 ~50×34×50×350 ×100	6
装 C 型刀片的 95°车刀		12×8×12×125×25 ~50×34×50×350 ×100	7

（续）

正方形截面刀杆			
车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围 （H/mm）×（h_1/mm）×（B/mm）×（L/mm）×（D_{min}/mm）	规格品种数
装 D 型刀片的 93°车刀		12×8×12×125×25 ~50×34×50×350 ×100	7

（续）

矩形截面刀杆

车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围 （H/mm）×（h_1/mm）×（B/mm）×（L/mm）×（D_{min}/mm）	规格品种数
装 C 型刀片的 90°车刀		25×20×20×200×50～50×40×40×350×100	4
装 W 型刀片的 93°车刀		25×20×20×200×50～50×40×40×350×100	4

（续）

矩形截面刀杆			
车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围 （H/mm）×（h_1/mm）×（B/mm）×（L/mm）×（D_{min}/mm）	规格品种数
装 S 型刀片的 75°车刀		25×20×20×200×50 ~50×40×40×350 ×100	4
装 T 型刀片的 60°车刀		25×20×20×200×50 ~50×40×40×350 ×100	4

（续）

矩形截面刀杆			
车刀名称及用刀片代号	车刀类型	主要尺寸范围 （H/mm）×（h_1/mm）×（B/mm）×（L/mm）×（D_{min}/mm）	规格品种数
装 S 型刀片的 45° 车刀		25×20×20×200×50 ~50×40×40×350×100	4

注：D_{min}为最小加工直径。

（3）可转位硬质合金刀片的型号与基本参数（表 5-17）

表 5-17　可转位硬质合金刀片的型号与基本参数

（单位：mm）

型号	刀片简图	L	d 尺寸	d 公差	s ±0.13	d_1 ±0.08	r_ε
TNMM160408		16.5	9.525	±0.05	4.76	3.81	0.8
TNMM160412							1.2
TNMM220412		22.0	12.70	±0.08	4.76	5.16	1.2
TNMM220416							1.6
FNMM110402		11	9.525	±0.05	4.76	3.81	0.2
FNMM110404							0.4
FNMM150402		15	12.70	±0.08	4.76	5.16	0.2
FNMM150404							0.4

（续）

型号	刀片简图	L	d		s ±0.13	d_1 ±0.08	r_ε
			尺寸	公差			
WNMM080404		8.45	12.70	±0.08	4.76	5.16	0.4
WNMM080408							0.8
WNMM110608		11.63	15.875	±0.10	6.35	6.35	0.8
WNMM110612							1.2
TPMR110302		11.0	6.35	±0.05	3.18	—	0.2
TPMR110304							0.4
TPMR160302		16.5	9.525	±0.05	3.18	—	0.2
TPMR160304							0.4

（续）

型号	刀片简图	L	d		s ±0.13	d_1 ±0.08	r_ε
			尺寸	公差			
SPMR090302		9.525	9.525	±0.05	3.18	—	0.2
SPMR090304							0.4
SPMR120304		12.70	12.70	±0.08	3.18	—	0.2
SPMR120308							0.8
SNMM090304		9.525	9.525	±0.05	3.18	3.81	0.4
SNMM090308							0.8
SNMM120408		12.70	12.70	±0.08	5.16	5.16	0.4
SNMM120412							0.8
SNNM190612		19.05	19.05	±0.10	7.93	7.93	1.2
SNNM190616							1.6

（续）

型号	刀片简图	L	d		s	d_1	r_ε
			尺寸	公差	±0.13	±0.08	
DNMM150408		15.5	12.70	±0.08	4.76	5.16	0.8
DNMM150412							1.2
DNMM150608		15.5	12.70	±0.08	6.35	5.16	0.8
DNMM150612							1.2
PNMM110412		11.56	15.875	+0.10	6.35	6.35	1.2
PNMM110420							2.0
PNMM130620		13.87	19.05	+0.10	7.93	7.93	1.6
PNMM130624							2.4

（续）

型号	刀片简图	L	d		s	d_1	r_ε
			尺寸	公差	±0. 13	±0. 08	
RCMM090300		—	9. 525	±0. 05	3. 18	3. 18	0. 8
RCMM120400			12. 70	±0. 08	4. 76	5. 16	
RCMM150600			15. 875	±0. 10	6. 35	6. 35	
RCMM190600			19. 05	±0. 10	6. 35	7. 93	
RCMM250700			25. 40	±0. 13	7. 93	9. 12	

注：可转位硬质合金刀片的标注方法可查 GB/T 2076—2007。

5. 机夹车刀

机夹车刀的类型及尺寸规格见表 5-18。

表 5-18　机夹车刀的类型及尺寸规格

车刀名称及标准代号	图　　示	主要尺寸范围	规格品种数	
		$(h_1/\mathrm{mm})\times(h/\mathrm{mm})\times(b/\mathrm{mm})\times(L/\mathrm{mm})$	右切车刀	左切车刀
A 型机夹切断车刀(GB/T 10953—2006)		20×20×22×125 ~32×32×32×170	6	6

（续）

车刀名称及标准代号	图　　示	主要尺寸范围	规格品种数	
		（h_1/mm）×（h/mm）×（b/mm）×（L/mm）	右切车刀	左切车刀
B 型机夹切断车刀（GB/T 10953—2006）		20×25×20×125 ~50×63×50×250	10	10
机夹外螺纹车刀（GB/T 10954—2006）		16×16×16×110 ~50×50×40×250	6	6

（续）

车刀名称及标准代号	图　　示	主要尺寸范围	规格品种数	
		（h_1/mm）×（h/mm）×（b/mm）×（L/mm）	右切车刀	左切车刀
机夹内螺纹车刀（矩形刀杆）（GB/T 10954—2006）		12×16×16×150 ~32×40×40×300	5	5

（续）

车刀名称及标准代号	图　　示	主要尺寸范围	规格品种数	
		$(h_1/\mathrm{mm})\times(d/\mathrm{mm})\times(B/\mathrm{mm})\times(L/\mathrm{mm})$	右切车刀	左切车刀
机夹内螺纹车刀（圆形刀杆）（GB/T 10955—2006）		10×20×3×180 ~30×60×10×400	6	6

注：在圆形刀杆的上下两面可削出两个小平面及内侧工艺小平面。

5.1.3 孔加工刀具

1. 麻花钻

（1）标准麻花钻的切削角度

1）标准麻花钻的结构。如图 5-4 所示，麻花钻分直柄和锥柄两种，它由三个部分组成。

① 尾部——起传递动力和夹持定心的作用。

② 颈部——制造时磨削加工用的退刀槽，直径尺寸较大的钻头在此部位注明钻头材料和直径尺寸。

③ 工作部分——是麻花钻的主要部分，起切削和导向作用。

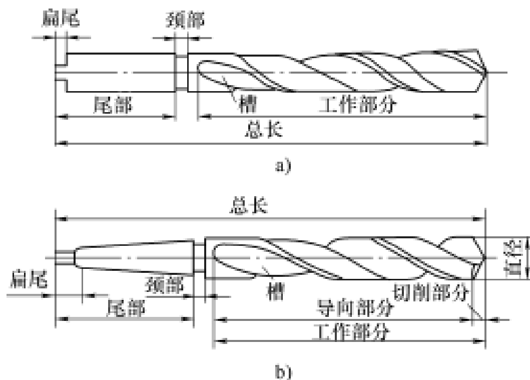


图 5-4 麻花钻的结构

a）直柄麻花钻 b）锥柄麻花钻

2）麻花钻切削部分的几何角度。如图 5-5 所示，麻

花钻切削部分的主要几何角度有以下几个：

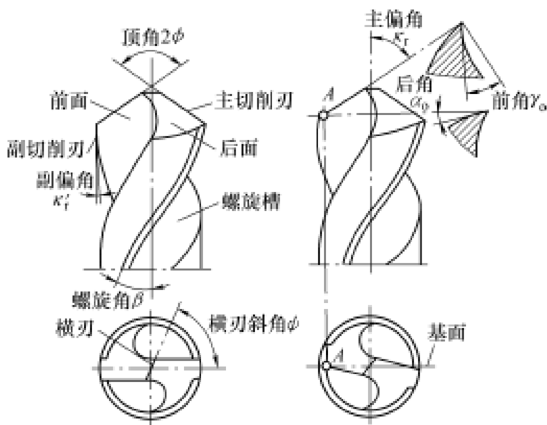


图 5-5　麻花钻切削部分的几何角度

① 顶角（2ϕ）——钻头两主切削刃的夹角，一般标准麻花钻的顶角为 118°±2°。

② 主偏角（κ_r）——主切削刃上任一点（A）的主偏角是进给方向与主切削刃的切线在这一点的基面上的投影所夹的角。

③ 副偏角（κ'_r）——或称“倒锥”，是进给方向与副切削刃的切线在基面上投影所夹的角，其作用是减小棱边与孔壁的摩擦。

④ 前角（γ_o）——钻头的前角是变化的，靠近外缘

处最大，靠近钻心部分最小，甚至是负前角，大小为 −30°～+30°。

⑤ 后角（α_o）——钻头的后角也是变化的，靠近外缘处的后角最小，靠近钻心部分的后角最大。

⑥ 螺旋角（β）——通常是指螺旋槽棱边展开成直线后与钻头轴线之间的夹角。标准麻花钻的螺旋角按不同的钻头直径分别做成 18°～30°；直径 10～80mm 麻花钻的螺旋角均为 30°。

⑦ 横刃斜角（ψ）——横刃为两主切削刃的连接线，也就是主后面的交线，横刃斜角是横刃与主切削刃在垂直于麻花钻轴线的端面投影图中所夹的角，一般为50°～55°。

3）通用型麻花钻的主要几何参数见表 5-19。

4）加工不同材料时麻花钻头的几何角度见表 5-20。

表 5-19　通用型麻花钻的主要几何参数

钻头直径 d/mm	螺旋角 β/(°)	顶角 2ϕ/(°)	后角 α_o/(°)	横刃斜角 ψ/(°)
0.1～0.28	19	118	28	40～60
0.29～0.35	20			
0.36～0.49			26	
0.50～0.70	22		24	40～60
0.72～0.98	23			
1.00～1.95	24		22	
2.00～2.65	25		20	
2.70～3.30	26		18	

（续）

钻头直径 d/mm	螺旋角 β/(°)	顶角 2ϕ/(°)	后角 α_o/(°)	横刃斜角 ψ/(°)
3.40～4.70	27	118	16	40～60
4.80～6.70	28			
6.80～7.50	29			
7.60～8.50			14	
8.6～18.00	30		12	
18.25～23.00			10	
23.25～100			8	

表 5-20　加工不同材料时麻花钻头的几何角度

加工材料	顶角/(°)	后角/(°)	横刃斜角/(°)	螺旋角/(°)
一般材料	116～118	12～15	35～45	20～32
一般硬材料	116～118	6～9	25～35	20～32
铝合金（通孔）	90～120	12	35～45	17～20
铝合金（深孔）	118～130	12	35～45	32～45
软黄铜和青铜	118	12～15	35～45	10～30
硬青铜	118	5～7	25～35	10～30
铜和铜合金	110～130	10～15	35～45	30～40
软铸铁	90～118	12～15	30～45	20～32

（续）

加工材料	顶角/（°）	后角/（°）	横刃斜角/（°）	螺旋角/（°）
冷（硬）铸铁	118～135	5～7	25～35	20～32
淬火钢	118～125	12～15	35～45	20～32
铸钢	118	12～15	35～45	20～32
锰钢（7%～13%锰）	150	10	25～35	20～32
高速钢	135	5～7	25～35	20～32
镍钢（250～400HBW）	130～150	5～7	25～35	20～32
木料	70	12	35～45	30～40
硬橡胶	60～90	12～15	35～45	10～20

（2）高速钢麻花钻的类型直径范围及标准代号（表5-21）

（3）扩孔钻类型、规格范围及标准代号（表5-22）

（4）锪钻类型、规格范围及标准代号（表5-23）

2. 中心钻（表5-24）

3. 铰刀

铰刀使用范围较广，种类也很多。按使用方式，铰刀可分为手用铰刀和机用铰刀两种；按结构，铰刀可分为整体式铰刀、套式铰刀和可调节式铰刀三种；按切削部分材料，铰刀可分为高速钢铰刀和硬质合金铰刀；按用途，铰刀可分为圆柱铰刀和锥度铰刀。

表 5-21 高速钢麻花钻的类型直径范围及标准代号

类型	简　　图	直径范围 d/mm	标准代号
粗直柄小麻花钻		0.1～0.35	GB/T 6135.1—2008
直柄短麻花钻		0.5～40.0	GB/T 6135.2—2008

（续）

类型	简　　图	直径范围 d/mm	标准代号
直柄麻花钻		2.0～20.0	GB/T 6135.2—2008
直柄长麻花钻		1.0～31.5	GB/T 6135.3—2008

（续）

类型	简　　图	直径范围 d/mm	标准代号
直柄超长麻花钻		2.0～14.0	GB/T 6135.4—2008
莫氏锥柄麻花钻	莫氏锥柄	3.0～100.0	GB/T 1438.1—2008

（续）

类型	简　　图	直径范围 d/mm	标准代号
莫氏锥柄长麻花钻		5.0～50.0	GB/T 1438.2—2008
莫氏锥柄加长麻花钻		6.0～30.0	GB/T 1438.3—2008

（续）

类型	简　　图	直径范围 d/mm	标准代号
莫氏锥柄超长麻花钻		6.0～50.0	GB/T 1438.4—2008

表 5-22 扩孔钻类型、规格范围及标准代号

类型	简　图	规格范围[①] d/mm 推荐值	标准代号
直柄扩孔钻		3～19.7	GB/T 4256—2004
锥柄扩孔钻		7.8～50	GB/T 4256—2004
套式扩孔钻		25～100	GB/T 1142—2004

① 直径 d“推荐值”是常备的扩孔钻规格，用户有特殊需要时也可供应“分级范围”内的任一直径的扩孔钻。直径 $d \leqslant 6$mm 的扩孔钻可制成反顶尖。

表 5-23　锪钻类型、规格范围及标准代号

类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
60°、90°、120°直柄锥面锪钻	$\alpha = 60°、90°、120°$	d_1 8 ~ 25	GB/T 4258—2004
60°、90°、120°锥柄锥面锪钻	莫氏锥柄 $\alpha = 60°、90°、120°$	d_1 16 ~ 80	GB/T 1143—2004

（续）

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
带整体导柱直柄平底锪钻		$(d_1 \times d_2)$ 3.3×1.8 ~20×13.5	GB/T 4260—2004
带可换导柱锥柄平底锪钻		$(d_1 \times d_2)$ 13×6.6 ~61×33	GB/T 4261—2004

（续）

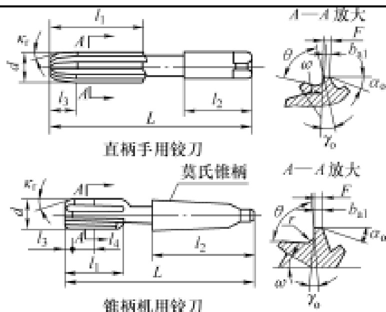
类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
带整体导柱直柄90° 锥 面锪钻		$(d_1 \times d_2)$ 3.7×1.8 ~17.6×9	GB/T 4263—2004
带可换导柱锥柄90° 锥 面锪钻	莫氏锥柄	$(d_1 \times d_2)$ 13.8×6.6 ~40.4×22	GB/T 4264—2004

表 5-24　中心钻的类型及规格范围（GB/T 6078. 1 ~ 4—1998）

类　　型	简　　图	规格范围/mm
不带护锥中心钻（A 型）		$d \times d_1 \times L \times l_1$ 0. 5 ×3. 15 ×31. 5 ×1 ~10 ×25 ×100 ×14. 2
带护锥中心钻（B 型）		$d \times d_1 \times d_2 \times l$ 1 ×4 ×2. 12 ×35. 5 ~10 ×31. 5 ×21. 2 ×125
弧形中心钻（R 型）		$d \times d_1 \times l \times l_1$ 1 ×3. 15 ×31. 5 ×3 ~10 ×25 ×100 ×26. 5

（1）铰刀的主要几何参数（表 5-25）

表 5-25　铰刀的主要几何参数



直柄手用铰刀

锥柄机用铰刀

d—铰刀直径　L—总长　l_1—工作部分　l_2—柄部

l_3—切削部分　l_4—圆柱校准部分　θ—齿槽截形夹角

κ_r—主偏角　γ_o—前角　α_o—后角

ω—齿间夹角　b_{a1}—棱边　F—齿背宽度

加工材料	铰刀切削部分材料			
	高速钢	硬质合金	高速钢	硬质合金
	前角 γ_o		后角 α_o	
未淬硬钢	0 ~ 4	0 ~ －5	6 ~ 12	6 ~ 8
中硬钢	5 ~ 10	－5 ~ －10	6 ~ 12	6
不锈钢耐热钢	8 ~ 12	—	5 ~ 8	—
铜合金	0 ~ 5	—	10 ~ 12	—
镁合金	5 ~ 8	—	10 ~ 12	—
铝和铝合金	5 ~ 10	—	10 ~ 12	—
铸铁	0	5	6 ~ 8	8 ~ 10

（2）常用铰刀的类型及规格范围（表 5-26）

表 5-26　常用铰刀的类型及规格范围

类　　型	简　　图	规格范围/mm
手用铰刀（GB/T 1131.1—2004）		$d \times l \times l_1$ 3.5×71×35 ~50×347×174 分为 H7、H8、H9 三个精度等级
直柄机用铰刀（GB/T 1132—2004）	 a) b) a）直径 $d \leqslant 3.75$mm　b）直径 $d > 3.75$mm	$d \times L \times l$ 3.5×70×18 ~20×195×60 分为 H7、H8、H9 三个精度等级

（续）

类　　型	简　　图	规格范围/mm
莫氏锥柄机用铰刀（GB/T 1132—2004）		$d \times L \times l$ 5.5×138×26 ~50×344×86 分为 H7、H8、H9 三个精度等级
硬质合金直柄机用铰刀（GB/T 4251—2008）		$d \times d_1 \times L \times l$ 6×5.6×93×17 ~20×16×195×25 分为 H7、H8、H9 三个精度等级

（续）

类　　型	简　　图	规格范围/mm
硬质合金莫氏锥柄机用铰刀（GB/T 4251—2008）	莫氏锥柄 d l L 莫氏锥柄 α d l L	$d \times L \times l$ 8×156×17 ~37.5×329×34 分为H7、H8、H9三个精度等级

（续）

类　　型	简　　图	规格范围/mm
手用 1∶50 锥度销子铰刀（GB/T 20774—2006）		$d \times L \times l \times d_1$ 0.6×35×10×0.7 ~50×300×220 ×54.1
锥柄机用 1∶50 锥度销子铰刀（GB/T 20332—2006）		$d \times L \times l_1 \times d_1$ 5×155×73×6.36 ~50×500×360 ×56.90
直柄莫氏圆锥和米制圆锥铰刀（GB/T 1139—2004）		圆锥号 米制：4、6 莫氏：0~6

（续）

类　　型	简　　图	规格范围/mm
锥柄莫氏圆锥和米制圆锥铰刀（GB/T 1139—2004）	粗铰刀 β 精铰刀 基准面 莫氏锥柄 l_1 l L	圆锥号 米制：4、6 莫氏：0～6
带刃倾角直柄机用铰刀（GB/T 1134—2008）	d d_1 l l_1 L	$d \times L \times l$ 5.5×93×26 ～20×195×60 分为H7、H8、H9三个精度等级

（续）

类　　型	简　　图	规格范围/mm
带刃倾角莫氏锥柄机用铰刀（GB/T 1134—2008）		$d \times L \times l$ 8 × 156 × 33 ~40 × 329 × 81 分为 H7、H8、H9 三个精度等级
套式机用铰刀		$d \times L \times l$ 25 × 45 × 32 ~100 × 100 × 71 分为 H7、H8、H9 三个精度等级
米制锥螺纹锥孔铰刀		螺纹代号 ZM6 ~ ZM60

（续）

类　　型	简　　图	规格范围/mm
可调节手用铰刀（JB/T 3869—1999）		调节范围（直径）（6.5 ~ 7.0）~（84 ~ 100）

（续）

类　型	简　图	规格范围/mm
硬质合金可调节浮动铰刀（JB/T 7426—2006）	A型(加工通孔)　B型(加工不通孔)	调节范围×*D* （20～22）×20～（210～230）×210

5.1.4　铣刀

1. 各类铣刀几何角度及代号（图 5-6）

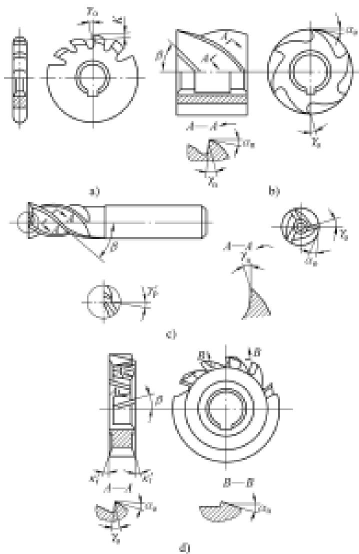


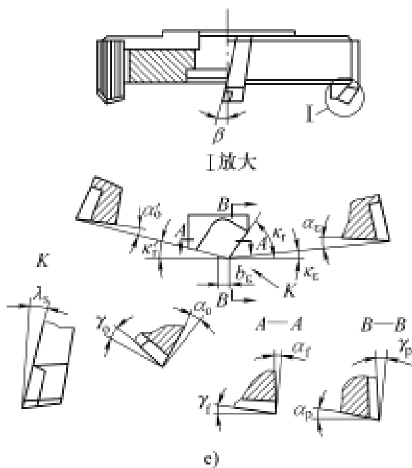
图 5-6　各类铣刀

a）凸半圆铣刀　b）圆柱形铣刀　c）立铣刀

γ_o—前角　γ_p—切深前角　γ_f—进给前角　γ_n—法向前角

α_f—进给后角　α_n—法向后角　α_ε—过渡刃后角　κ_r—主偏角

β—刀体上刀齿槽斜角　b_ε—过渡



e)

几何角度及代号

d）错齿三面刃铣刀　e）面铣刀

γ'_p—副切深前角　α_o—后角　α'_o—副后角　α_p—切深后角

κ'_r—副偏角　$\kappa_{r\varepsilon}$—过渡刃偏角　λ_s—刃倾角

刃宽度　K—铲背量

2. 常用铣刀类型、规格范围及标准代号

（1）立铣刀（表 5-27）

表 5-27　立铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
直柄立铣刀		$d\times l$ 2 × 13 ~ 71 × 75	GB/T 6117. 1—2010
莫氏锥柄立铣刀	莫氏锥柄	$d\times l$ 6 × 13 ~ 36 × 53	GB/T 6117. 2—2010

（续）

类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
套式立铣刀		$D \times L$ $40 \times 32 \sim 160 \times 63$	GB/T 1114.1—1998
整体硬质合金直柄立铣刀		$d_1 \times l_2$ $1 \times 3 \sim 20 \times 38$	GB/T 16770.1—2008

（续）

类型	简　图	规格范围/mm	标准代号
硬质合金螺旋齿直柄立铣刀		$d \times l$ 12×20～40×63	GB/T 16456.1—2008
莫氏锥柄硬质合金螺旋齿立铣刀		$d \times l$ 16×25～63×100	GB/T 16456.3—2008
7∶24 锥柄硬质合金螺旋齿立铣刀		$d \times l$ 32×40～63×100	GB/T 16456.2—2008

（2）键槽铣刀（表 5-28）

表 5-28　键槽铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
直柄键槽铣刀		$d \times l$ 2 ×4 ~20 ×22 （短系列） 2 ×7 ~20 ×38 （标准系列）	GB/T 1112. 1 —2008
莫氏锥柄键槽铣刀		$d \times l$ 10 ×13 ~63 ×53 （短系列） 10 ×22 ~63 ×90 （标准系列）	GB/T 1112. 2 —1997

（3）T 形槽铣刀（表 5-29）

表 5-29　T 形槽铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
直柄 T 形槽铣刀		$d \times l$ $11 \times 3.5 \sim 60 \times 28$	GB/T 6124—2007
莫氏锥柄 T 形槽铣刀		$d \times l$ $18 \times 8 \sim 95 \times 44$	GB/T 6124—2007

（4）半圆键槽铣刀（表 5-30）

表 5-30　半圆键槽铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
普通直柄半圆键槽铣刀		$d \times b$ 4.5 ×1 ~ 32.5 ×10	GB/T 1127—2007

（5）燕尾槽铣刀（表 5-31）

表 5-31　燕尾槽铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
直柄燕尾槽铣刀（Ⅰ型）		$d_2 \times l_1$ 16 ×4 ~ 31.5 ×12.5	GB/T 6338—2004
直柄反燕尾槽铣刀（Ⅱ型）		$d_2 \times l_1$ 16 ×4 ~ 31.5 ×12.5	GB/T 6338—2004

注：α 有 45°、50°、55°、60°四种规格。

（6）槽铣刀（表5-32）

表5-32　槽铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
尖齿槽铣刀		$D \times d$ 63×22～125×32	GB/T 1119.1—2002
螺钉槽铣刀		$D \times d$ 60×16～75×22	JB/T 8366—1996

（7）锯片铣刀（表5-33）

表 5-33　锯片铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
粗齿锯片铣刀		$D \times d$ 63×16～315×40	GB/T 6120—2012
细齿锯片铣刀		$D \times d$ 63×16～315×40	GB/T 6120—2012
整体硬质合金锯片铣刀	D=63型　D=80～125型	$D \times d$ 63×16～125×22	GB/T 14301—2008

（8）三面刃铣刀（表5-34）

表5-34　三面刃铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
直齿三面刃铣刀		$D\times d$ 50×16～200×40	GB/T 6119—2012
错齿三面刃铣刀		$D\times d$ 50×16～200×40	GB/T 6119—2012
镶齿三面刃铣刀		$D\times d$ 80×22～315×50	JB/T 7953—2010

（续）

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
硬质合金错齿三面刃铣刀		$D \times d$ 63×22～250×50	GB/T 9062—2006

（9）圆柱形铣刀（表5-35）

表5-35　圆柱形铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
圆柱形铣刀		$D \times d$ 50×22～100×40	GB/T 1115.1—2002

（10）铲背成形铣刀（表5-36）

表 5-36　铲背成形铣刀

类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
圆角铣刀		$R \times D \times d$ $1 \times 50 \times 16$ ~ $20 \times 125 \times 32$	GB/T 6122.1—2002
凸半圆铣刀		$R \times D \times d$ $1 \times 50 \times 16$ ~ $20 \times 125 \times 32$	GB/T 1124.1—2007
凹半圆铣刀		$R \times D \times d$ $1 \times 50 \times 16$ ~ $20 \times 125 \times 32$	GB/T 1124.1—2007

（11）角度铣刀（表 5-37）

表 5-37　角度铣刀

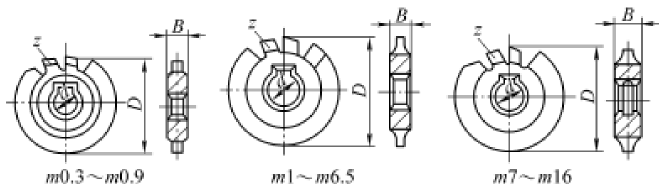
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
单角铣刀（θ 为 18°～90°）		$D\times d$ 50×16～100×32	GB/T 6128.1—2007
对称双角铣刀（θ 为 18°～90°）		$D\times d$ 50×16～100×32	GB/T 6128.2—2007
不对称双角铣刀（θ 为 50°～100°）（δ 为 15°～25°）		$D\times d$ 50×16～100×32	GB/T 6128.1—2007

5.1.5 齿轮刀具

1. 盘形齿轮铣刀形式和基本尺寸（表 5-38）

表 5-38 盘形齿轮铣刀形式和基本尺寸

（JB/T 7970.1—1999）（单位：mm）



*m*0.3～*m*0.9　　*m*1～*m*6.5　　*m*7～*m*16

模数系列		D	d	B															齿数 z	背吃刀量
				铣刀号																
1	2			1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	6	$6\frac{1}{2}$	7	$7\frac{1}{2}$	8		
0.30		40	16	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	20	0.66
	0.35																			0.77
0.40																				0.88
0.50																			18	1.10

（续）

模数系列 1	模数系列 2	D	d	B 铣刀号 1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	6	$6\frac{1}{2}$	7	$7\frac{1}{2}$	8	齿数 z	背吃刀量
0.60		40	16	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	18	1.32
	0.70																		16	1.54
0.80																				1.76
	0.90																			1.98
1.00		50	22																14	2.20
1.25				4.8		4.6		4.4		4.2		4.1		4.0		4.0		4.0		2.75
1.50		55		5.6		5.4		5.2		5.1		4.9		4.7		4.5		4.2		3.30
	1.75	60		6.5		6.3		6.0		5.8		5.6		5.4		5.2		4.9	12	3.85
2.00				7.3		7.1		6.8		6.6		6.3		6.1		5.9		5.5		4.40
	2.25			8.2		7.9		7.6		7.3		7.1		6.8		6.5		6.1		4.95
2.50		65		9.0		8.7		8.4		8.1		7.8		7.5		7.2		6.8		5.50
	2.75	70	27	9.9		9.6		9.2		8.8		8.5		8.2		7.9		7.4		6.05
3.00				10.7		10.4		10.0		9.6		9.2		8.9		8.5		8.1		6.60
	3.25	75		11.5		11.2		10.7		10.3		9.9		9.6		9.3		8.8		7.15
	3.50			12.4		12.0		11.5		11.1		10.7		10.3		9.9		9.4		7.70

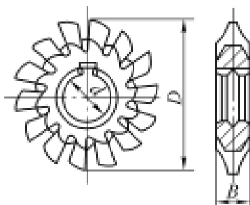
（续）

模数系列		D	d	B															齿数 z	背吃刀量
				铣刀号																
1	2			1	1 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{1}{2}$	3	3 $\frac{1}{2}$	4	4 $\frac{1}{2}$	5	5 $\frac{1}{2}$	6	6 $\frac{1}{2}$	7	7 $\frac{1}{2}$	8		
	3.75			13.3		12.8		12.3		11.9		11.4		11.0		10.5		10.0		8.25
4.00		80	27	14.1		13.7		13.1		12.6		12.2		11.7		11.2		10.7	12	8.80
	4.50			15.3		14.9		14.4		13.9		13.6		13.1		12.6		12.0		9.90
5.00		90		16.8		16.3		15.8		15.4		14.9		14.5		13.9		13.2		11.00
	5.50	95		18.4	—	17.9	—	17.3	—	16.7	—	16.3	—	15.8	—	15.3	—	14.5		12.10
6.00		100		19.9		19.4		18.8		18.1		17.6		17.1		16.4		15.7		13.20
	6.50	105	32	21.4		20.8		20.2		19.4		19.0		18.4		17.8		17.0	11	14.30
	7.00			22.9		22.3		21.6		20.9		20.3		19.7		19.0		18.2		15.40
8.00		110		26.1		25.3		24.4		23.7		23.0		22.3		21.5		20.7		17.60
	9.00	115		29.2	28.7	28.3	28.1	27.6	27.0	26.6	26.1	25.9	25.4	25.1	24.7	24.3	23.9	23.3		19.80
10		120		32.2	31.7	31.2	31.0	30.4	29.8	29.3	28.7	28.5	28.0	27.6	27.2	26.7	26.3	25.7		22.00
	11	135		35.3	34.8	34.3	34.0	33.3	32.7	32.1	31.5	31.3	30.7	30.3	29.9	29.3	28.9	28.2		24.20
12		145		38.3	37.7	37.2	36.9	36.1	35.5	35.0	34.3	34.0	33.4	33.0	32.4	31.7	31.3	30.6	10	26.40
	14	160	40	44.7	44.0	43.4	43.0	42.1	41.3	40.6	39.8	39.5	38.8	38.4	37.7	37.0	36.3	35.5		30.80
16		170		50.7	49.9	49.3	48.7	47.8	46.8	46.1	45.1	44.8	44.0	43.5	42.8	41.9	41.3	40.3		35.20

2. 盘形锥齿轮铣刀形式和基本尺寸（表 5-39）

表 5-39　盘形锥齿轮铣刀形式和基本尺寸

（单位：mm）



模数 m	基本尺寸			模数 m	基本尺寸		
	D	B	d		D	B	d
0. 3	40	4	16	3. 25	75	11. 5	27
0. 35	40	4	16	3. 5	75	12. 4	27
0. 4	40	4	16	3. 75	80	13. 3	27
0. 5	40	4	16	4	80	14. 1	27
0. 6	40	4	16	4. 5	80	15. 3	27
0. 7	40	4	16	5	90	16. 8	32
0. 8	40	4	16	5. 5	95	18. 4	32
0. 9	40	4	16	6	100	19. 9	32
1	40	4	16	6. 5	105	21. 4	32
1. 25	50	4. 8	22	7	105	22. 9	32
1. 5	55	5. 6	22	8	110	26. 1	32
1. 75	60	6. 5	22	9	115	29. 2	32
2	60	7. 3	22	10	120	31. 7	32
2. 25	60	8. 2	22	11	135	35. 3	40
2. 5	65	9. 0	22	12	145	38. 3	40
2. 75	70	9. 9	27	14	160	44. 7	40
3	70	10. 7	27	16	170	50. 7	40

3. 渐开线齿轮滚刀基本形式和模数范围（表 5-40）

表 5-40　渐开线齿轮滚刀基本形式和模数范围

（单位：mm）

名称	模数范围		图示	标准代号
	Ⅰ	Ⅱ		
齿轮滚刀	1 ~ 10	1.75 ~9		GB/T 6083—2001
镶片齿轮滚刀	10 ~ 40	9 ~ 36		GB/T 9205—2005
小模数齿轮滚刀	0.1 ~ 0.8	0.35 ~ 0.9		JB/T 2494—2006

（续）

名称	模数范围 Ⅰ	模数范围 Ⅱ	图示	标准代号
磨前齿轮滚刀	1～10	1.75～9		JB/T 7968.1—1999
剃前齿轮滚刀	1～8	1.75～7		JB/T 4103—2006

5.1.6　丝锥和板牙

1. 丝锥

（1）丝锥的结构及应用　机用和手用丝锥是切削普通螺纹的常用标准丝锥。在工具国家标准中，将高速钢磨牙丝锥定名为机用丝锥，将碳素工具钢或合金工具钢（少量高速钢）滚牙（或切牙）丝锥定名为手用丝锥。实质上它们的工作原理和结构特点完全相同。

1）丝锥的结构和几何参数如图 5-7 所示。

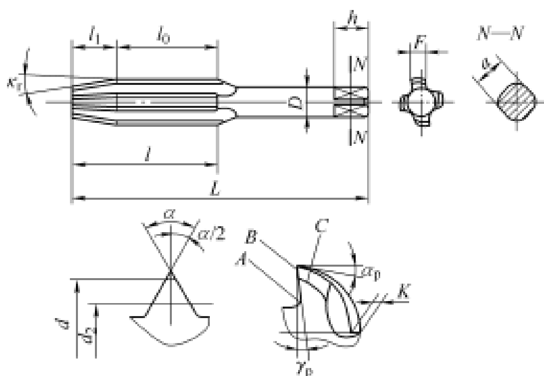


图 5-7　丝锥的结构和几何参数

L—丝锥总长　l—螺纹部分长度　l_1—切削锥长度
l_0—校准部分长度　d—大径　d_2—中径　D—柄部直径
h—方头长度　a—方头厚度　F—刃背宽度
κ_r—主偏角　γ_p—前角　α_p—后角　K—后面铲背量
α—牙型角　A—沟槽　B—前面　C—后面

2）不同公差带丝锥加工内螺纹的相应公差带等级见表 5-41。

表 5-41　不同公差带丝锥加工内螺纹的相应公差带等级

GB/T 968—2007 丝锥公差带代号	旧标准丝锥公差带代号	适用于内螺纹的公差带等级
H1	2 级	4H、5H
H2	2a 级	5G、6H

（续）

GB/T 968—2007 丝锥公差带代号	旧标准丝锥 公差带代号	适用于内螺 纹的公差带等级
H3	—	6G、7H、7G
H4	3 级	6H、7H

注：由于影响攻螺纹尺寸的因素很多，如材料性质、机床刚性、丝锥装夹方法、切削速度、冷却润滑条件等，因此，此表只能作为选择丝锥时参考。

（2）常用丝锥规格范围及标准代号（表 5-42）

2. 板牙

（1）圆板牙的结构和几何参数　圆板牙的结构和几何参数如图 5-8 所示。其螺纹部分由切削锥部分和校准部分组成。圆板牙两端面处都有切削锥部分。板牙螺纹中间一段是校准部分，具有完整的齿形，用来校准已切出的螺纹，也是套螺纹时的导向部分。

常用的切削锥角 $2\kappa_r$ 和切削锥长度 l_1 如下：

M1 ~ M6 的板牙 $2\kappa_r = 50°$，$l_1 = (1.3 \sim 1.5)P$（P 为螺距）

M6 以上的板牙 $2\kappa_r = 40°$，$l_1 = (1.7 \sim 1.9)P$（P 为螺距）

表 5-42　常用丝锥规格范围及标准代号

类型	简　　图	规格范围	标准代号
粗柄机用和手用丝锥		粗牙为 M1 ~M2.5 细牙为 M1 ×0.2 ~ M2.5 ×0.35	GB/T 3464.1—2007
粗柄带颈机用和手用丝锥		粗牙为 M3 ~M10 细牙为 M3 ×0.35 ~ M10 ×1.25	GB/T 3464.1—2007

（续）

类型	简　图	规格范围	标准代号
细柄机用和手用丝锥		粗牙为 M3 ~ M68 细牙为 M3 × 0.35 ~ M100 × 6	GB/T 3464.1—2007
长柄机用丝锥		粗牙为 M3 ~ M24 细牙为 M3 × 0.35 ~ M24 × 2	GB/T 3464.2—2003

（续）

类型	简　图	规格范围	标准代号
粗短柄机用和手用丝锥		粗牙为 M1 ~ M2.5 细牙为 M1 × 0.2 ~ M2.5 × 0.35	GB/T 3464.3—2007
粗柄带颈短柄机用和手用丝锥		粗牙为 M3 ~ M10 细牙为 M3 × 0.35 ~ M10 × 1.25	GB/T 3464.3—2007

（续）

类型	简　　图	规格范围	标准代号
细短柄机用和手用丝锥		粗牙为 M3 ~ M52 细牙为 M3 × 0.35 ~ M52 × 4	GB/T 3464.3—2007
螺母丝锥（$d \leqslant$ 5mm）		粗牙为 M2 ~ M5 细牙为 M3 × 0.35 ~ M5 × 0.5	GB/T 967—2008

（续）

类型	简　　图	规格范围	标准代号
圆柄螺母丝锥（$d>5\sim30$mm）		粗牙为 M6 ~ M30 细牙为 M6 × 0.75 ~ M30 × 1	GB/T 967—2008
螺母丝锥（$d>5$mm）		粗牙为 M6 ~ M52 细牙为 M6 × 0.75 ~ M52 × 1.5	GB/T 967—2008

（续）

类型	简　　图	规格范围	标准代号
长柄螺母丝锥		粗牙为 M3 ~ M33 细牙为 M3 × 0.35 ~ M52 × 1.5	JB/T 8786—1998
米制锥螺纹丝锥		Mc6 ~ Mc60	

（续）

类型	简　　图	规格范围	标准代号
螺旋槽丝锥	a) 适用于M3～M6 b) 适用于M7～M33	粗牙为 M3～M27 细牙为 M3×0.35～M33×3	GB/T 3506—2008

（续）

类型	简　　图	规格范围	标准代号
梯形螺纹丝锥		Tr8 ×1.5 ~ Tr52 ×8	JB/T 9989.1—1999
55°圆柱管螺纹丝锥		Rp1/16 ~ Rp4	GB/T 20333—2006

（续）

类型	简　　图	规格范围	标准代号
55° 圆锥管螺纹丝锥		Rc1/16 ~ Rc4	GB/T 20333—2006

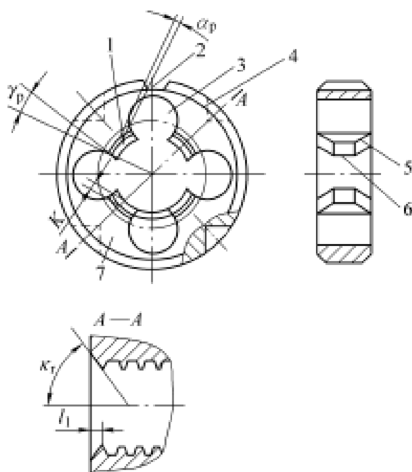


图 5-8　圆板牙结构和几何参数

1—刃瓣　2—调节槽　3—排屑槽　4—调节孔
5—切削锥　6—校准部　7—紧固孔

加工非金属的板牙 $2\kappa_r = 75°$

板牙切削锥部分经铲磨以形成后角，在端截面上后角 $\alpha_p = 5° \sim 7°$。

圆板牙的前面是容屑孔的一部分，为简化容屑孔加工和刃磨，板牙的前面一般均制成圆弧形（曲面），

因此前角的大小沿着切削刃变化，如图5-9所示，在螺纹小径处前角 γ_{pl} 最大，大径处前角 γ_p 最小。一般选取 $\gamma_p = 8° \sim 12°$；粗牙板牙 $\gamma_{pl} = 30° \sim 50°$；细牙板牙 $\gamma_{pl} = 25° \sim 30°$。

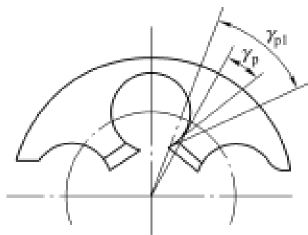


图 5-9　圆板牙前角的变化

M3.5 以上的圆板牙，其外圆上有四个紧定螺钉坑和一条 V 形槽。其中两个螺钉坑的轴线通过板牙中心，板牙绞杠上的两个紧定螺钉旋入后传递扭矩。新的圆板牙 V 形槽与容屑孔是不通的，校准部分磨损后，套出的螺纹直径变大，以致超出公差范围时，可用锯片砂轮沿 V 形槽中心割出一条通槽，此时 V 形槽就成了调整槽。调节板牙绞杠上另两个紧定螺钉，顶入圆板牙上两个偏心锥坑内，使圆板牙的螺纹孔径缩小。调节时，可使用试切来确定调整是否合格（但这种方法很少采用，即使采用也只适用于没有精度要求的螺纹）。

（2）常用板牙规格范围及标准代号（表 5-43）

表 5-43　常用板牙规格范围及标准代号

类型	简　　图	规格范围	标准代号
圆板牙	$D = 16$和20　　$D > 25$	粗牙为 M1 ~ M68 细牙为 M1 × 0. 2 ~ M56 ×4	GB/T 970. 1—2008
55°圆柱管螺纹圆板牙		Rp1/16 ~ Rp2 $\frac{1}{4}$	GB/T 20324—2006

（续）

类型	简　　图	规格范围	标准代号
55°圆锥管螺纹圆板牙		Rc1/16～Rc2	GB/T 20328—2006

注：1. 圆板牙适于加工普通螺纹（GB/T 192—2003～GB/T 193—2003、GB/T 196—2003～GB/T 197—2003）。

2. Rp 系列圆柱管螺纹圆板牙适用于加工 55°非密封管螺纹（GB/T 7307—2001）。

3. Rc 系列圆锥管螺纹圆板牙适用于加工 55°密封管螺纹（GB/T 7306.1—2000、GB/T 7306.2—2000）。

5.2　磨具

5.2.1　普通磨具

1. 磨料品种、代号及其应用范围（表5-44）

表5-44　磨料品种、代号及其应用范围

（GB/T 2476—1994）

种类	名称	代号	特　性	应用范围
刚玉类	棕刚玉	A	呈棕褐色，硬度较高，韧性较大，价格相对较低	适于磨削抗拉强度较高的金属材料，如碳钢、合金钢、可锻铸铁、硬青铜等
	白刚玉	WA	呈白色，硬度比棕刚玉高，韧性较棕刚玉低，易破碎，棱角锋利	适于磨削淬火钢、合金钢、高碳钢、高速钢以及加工螺纹及薄壁件等
	单晶刚玉	SA	呈淡黄或白色，单颗粒球状晶体，强度与韧性均比棕刚玉、白刚玉高，具有良好的多棱多角的切削刃，切削能力较强	适于磨削不锈钢、高钒钢、高速钢等高硬度、高韧性材料及易变形、烧伤的工件，也适用于高速磨削和低表面粗糙度磨削
	微晶刚玉	MA	呈棕黑色、磨粒由许多微小晶体组成，韧性大，强度高，工作时呈微刃破碎，自锐性能好	适于磨削不锈钢、轴承钢、特种球墨铸铁等较难磨材料，也适于成形磨、切入磨、高速磨及镜面磨等精加工

（续）

种类	名称	代号	特　性	应用范围
刚玉类	铬刚玉	PA	呈玫瑰红或紫红色，韧性高于白刚玉，效率高，加工后表面粗糙度较低	适于刀具、量具、仪表、螺纹等低表面粗糙度表面的磨削
	锆刚玉	ZA	呈灰褐色，具有较高的韧性和耐磨性，是 Al_2O_3 和 ZrO_2 的复合氧化物	适用于对耐热合金钢、钛合金及奥氏体不锈钢等难磨材料的磨削和重载磨削
	黑刚玉	BA	呈黑色，又名人造金刚砂，硬度低，但韧性好，自锐性、亲水性能好，价格较低	多用于研磨与抛光，并可用来制作树脂砂轮及砂布、砂纸等
碳化物类	黑碳化硅	C	呈黑色，有光泽，硬度高，但性脆，导热性能好，棱角锋利，自锐性优于刚玉	适于磨削铸铁、黄铜、铅、锌等抗张强度较低的金属材料，也适于加工各类非金属材料，如橡胶、塑料、矿石、耐火材料及热敏性材料的干磨等，也可用于珠宝、玉器的自由磨粒研磨等

（续）

种类	名称	代号	特　性	应用范围
碳化物类	绿碳化硅	GC	呈绿色，硬度和脆性均较黑色碳化硅为高，导热性好，棱角锋利，自锐性能好	主要用于硬质合金刀具和工件、螺纹和其他工具的精磨，适于加工宝石、玉石、钟表宝石轴承及贵重金属、半导体的切割、磨削和自由磨粒的研磨等
	立方碳化硅	SC	呈黄绿色，晶体呈立方形，强度高于黑碳化硅，脆性高于绿碳化硅，棱角锋锐	适于磨削韧而黏的材料，如不锈钢、轴承钢等，尤适于微型轴承沟槽的超精加工等
	碳化硼	BC	呈灰黑色，在普通磨料中硬度最高，磨粒棱角锐利，耐磨性能好	适于硬质合金、宝石及玉石等材料的研磨与抛光

2. 磨料粒度号及其选择

（1）粗磨粒粒度号及其基本尺寸（表5-45）

表 5-45　粗磨粒度号及其基本尺寸（GB/T 2484—2006）

粒　度　号		基本尺寸/μm
粗粒度	F4	5600～4750
	F5	4750～4000
	F6	4000～3350
	F7	3350～2800
	F8	2800～2360
	F10	2360～2000
	F12	2000～1700
	F14	1700～1400
	F16	1400～1180
	F20	1180～1000
	F22	1000～850
	F24	850～710
中粒度	F30	710～600
	F36	600～500
	F40	500～425
	F46	425～355
	F54	355～300
	F60	300～250
细粒度	F70	250～212
	F80	212～180
	F90	180～150
	F100	150～125
	F120	125～106
	F150	106～75
	F180	90～63
	F220	75～53

（2）微粉粒度号及其基本尺寸（表 5-46）

表 5-46　微粉粒度号及其基本尺寸

（GB/T 2484—2006）

粒度号	基本尺寸/μm		
	最大值	中值	最小值
F230	82	53 ±3. 0	34
F240	70	44. 5 ±2. 0	28
F280	59	36. 5 ±1. 5	22
F320	49	29. 2 ±1. 5	16. 5
F360	40	22. 8 ±1. 5	12
F400	32	17. 3 ±1. 0	8
F500	25	12. 8 ±1. 0	5
F600	19	9. 3 ±1. 0	3
F800	14	6. 5 ±1. 0	2
F1000	10	4. 5 ±1. 0	1
F1200	7	3 ±0. 5	1

（3）不同粒度磨具的使用范围（表 5-47）

表 5-47　不同粒度磨具的使用范围

磨具粒度	一般使用范围
F14 ~ F24	磨钢锭，铸件打毛刺，切断钢坯等
F36 ~ F46	一般平磨、外圆磨和无心磨
F60 ~ F100	精磨和刀具刃磨
F120 ~ F600	精磨、珩磨、螺纹磨
细于 F600	精细研磨、镜面磨削

3. 磨具硬度代号（表5-48）

表5-48　磨具硬度代号（GB/T 2484—2006）

磨具硬度	极软	很软	软	
硬度代号	A、B、C、D	E、F、G	H、J、K	
磨具硬度	中级	硬	很硬	极硬
硬度代号	L、M、N	P、Q、R、S	T	Y

4. 磨具组织号及其适用范围（表5-49）

表5-49　磨具组织号及其适用范围

磨粒率	磨粒率由大→小														
组织号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
磨粒率（%）	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34
适用范围	重载磨削，成形、精密磨削，间断磨削及自由磨削，或加工硬脆材料等				无心磨，内、外圆磨和工具磨，淬火钢工件磨削及刀具刃磨等				粗磨和磨削韧性大、硬度不高的工件，机床导轨和硬质合金刀具磨削，适合磨削薄壁、细长工件，或砂轮与工件接触面大以及平面磨削等					磨削热敏性较大的钨银合金、磁钢、有色金属，以及塑料、橡胶等非金属材料	

5. 结合剂代号、性能及其适用范围（表 5-50）

表 5-50　结合剂的代号、性能及其适用范围
（GB/T 2484—2006）

类别	名称及代号	原料	性　能	适 用 范 围
无机结合剂	陶瓷结合剂 V	黏土、长石、硼玻璃、石英及滑石等	化学性能稳定，耐热，抗酸、碱，气孔率大，磨耗小，强度较高，能较好地保持磨具的几何形状，但脆性较大	适用于内圆、外圆、无心、平面、螺纹及成形磨削，以及刃磨、珩磨及超精磨等，适于对碳钢、合金钢、不锈钢、铸铁、非铁金属以及玻璃、陶瓷等材料进行加工
	菱苦土结合剂 Mg	氧化镁及氯化镁等	工作时发热量小，其结合能力次于陶瓷结合剂，有良好的自锐性，强度较低且易水解	适于磨削热传导性差的材料，及磨具与工件接触面较大的工件，还广泛用于石材加工和磨米
有机结合剂	树脂或其他热固性有机结合剂 B 纤维增强树脂结合剂 BF	酚醛树脂或环氧树脂等	结合强度高，具有一定的弹性，能在高速下进行工作，自锐性能好，但其耐热性、坚固性较陶瓷结合剂差，且不耐酸、碱	适用于荒磨、切断和自由磨削，如磨钢锭，打磨铸件和锻件毛刺等。可用来制造高速、低表面粗糙度、重载、薄片切断砂轮，以及各种特殊要求的砂轮

（续）

类别	名称及代号	原料	性　　能	适 用 范 围
有机结合剂	橡胶结合剂 R 增强橡胶结合剂 RF	合成及天然橡胶	强度高、弹性好，磨具结构紧密，气孔率较小。磨粒钝化后易脱落，但耐酸、耐油及耐热性能较差，磨削时有臭味	适于制造无心磨导轮，精磨、抛光砂轮，超薄型切割用片状砂轮以及轴承精加工用砂轮

6. 磨具型号

（1）通用砂轮型号（表 5-51）

表 5-51　通用砂轮型号（GB/T 2484—2006）

型号	示 意 图	特征值的标记
1	H D T	平形砂轮 1 型-圆周型面①-$D \times T \times H$
2	W D T	粘接或夹紧用筒形砂轮 2 型-$D \times T \times W$
3	U T H J D	单斜边砂轮 3 型-$D/J \times T \times H$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
4		双斜边砂轮 4 型-$D\times T\times H$
5		单面凹砂轮 5 型-圆周型面①-$D\times T\times H$-$P\times F$
6		杯形砂轮 6 型-$D\times T\times H$-$W\times E$
7		双面凹一号砂轮 7 型-圆周型面①-$D\times T\times H$-$P\times F/G$
8		双面凹二号砂轮 8 型-$D\times T\times H$-$W\times J\times F/G$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
9		双杯形砂轮 9 型-$D \times T \times H$-$W \times E$
11		碗形砂轮 11 型-$D/J \times T \times H$-$W \times E$
12a		碟形砂轮 12a 型-$D/J \times T \times H$
12b		碟形砂轮 12b 型-$D/J \times T \times H$-U
13		茶托形砂轮 13 型-$D/J \times T/U \times H$-K

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
20		单面锥砂轮 20 型-$D/K \times T/N \times H$
21		双面锥砂轮 21 型-$D/K \times T/N \times H$
22		单面凹单面锥砂轮 22 型-$D/K \times T/N \times H\text{-}P \times F$
23		单面凹锥砂轮 23 型-$D \times T/N \times H\text{-}P \times F$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
24		双面凹单面锥砂轮 24 型-$D \times T/N \times H$-$P \times F/G$
25		单面凹双面锥砂轮 25 型-$D/K \times T/N \times H$-$P \times F$
26		双面凹锥砂轮 26 型-$D \times T/N \times H$-$P \times F/G$
27		钹形砂轮 27 型-$D \times U \times H$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
28		锥面钹形砂轮 28 型-$D \times U \times H$
35		粘接或夹紧用圆盘砂轮 35 型-$D \times T \times H$
36		螺栓紧固平形砂轮 36 型-$D \times T \times H$-嵌装螺母
37		螺栓紧固筒形砂轮 （$W \leqslant 0.17D$） 37 型-$D \times T \times W$-嵌装螺母
38		单面凸砂轮 38 型-圆周型面①-$D/J \times T/U \times H$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
39		双面凸砂轮 39 型-圆周型面[①]-$D/J \times T/U \times H$
41		平形切割砂轮 41 型-$D \times T \times H$
42		钹形切割砂轮 42 型-$D \times U \times H$

注：表图中有“➡”者为基本工作面（下同）。

① 对应的圆周型面见表 5-52。

（2）圆周型面　平形砂轮的圆周可有各种型面。其中一些型面是标准化的，应由紧随砂轮型号数字后面的字母来表示（表 5-52）。

表 5-52　圆周型面

代号	B	C
型面		
代号	D	E
型面		
代号	F	G
型面		

（续）

代号	H	I
型面	0.13T 80° 80° T	0.13T 60° 60° T
代号	J	K
型面	0.7T U① U① T	23° 23° T
代号	L	M
型面	T T	U① 30° T

（续）

代号	N	P
型面		

代号	Q
型面	

① $U=3.2$mm，除非订货单另有规定。

② 对于 N 型面，V 和 X 根据订货单而定。

（3）不带柄磨头型号（表 5-53）

表 5-53　不带柄磨头型号（GB/T 2484—2006）

型号	示 意 图	特征值的标记
16		椭圆锥磨头 16 型-$D\times T\times H$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
17a	R2 T L H D	60°锥磨头 17a 型-$D\times T\times H$
17b	R T L H D	圆头锥磨头 17b 型-$D\times T\times H$
17c	T L D H	截锥磨头 17c 型-$D\times T\times H$
18a	L D H T	圆柱形磨头 18a 型-$D\times T\times H$
18b	R H D L T	半球形磨头 18b 型-$D\times T\times H$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
19		球形磨头 19 型-$D \times T \times H$

（4）带柄磨头型号（表 5-54）

表 5-54　带柄磨头型号（GB/T 2484—2006）

型号	示 意 图	特征值的标记
52		带柄圆柱磨头 5201 型-$D \times T \times S$-L
		带柄半球形磨头 5202 型-$D \times T \times S$-L
		带柄球形磨头 5203 型-$D \times T \times S$-L

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
52		带柄截锥磨头 5204 型-$D \times T \times S$-L
		带柄椭圆锥磨头 5205 型-$D \times T \times S$-L
		带柄 60°锥磨头 5206 型-$D \times T \times S$-L
		带柄圆头锥磨头 5207 型-$D \times T \times S$-L

（5）一般磨石型号（表 5-55）

表 5-55 一般磨石型号

（GB/T 2484—2006）

型号	示意图	特征值的标记
54	C B L	长方形珩磨磨石 5410 型-$B \times C \times L$
	B B L	正方形珩磨磨石 5411 型-$B \times L$
	H D T	珩磨磨石 5420 型-$D \times T \times H$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
90		长方形磨石 9010 型-$B \times C \times L$
		正方形磨石 9011 型-$B \times L$
		三角形磨石 9020 型-$B \times L$
		刀形磨石 9021 型-$B \times C \times L$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
90		圆形磨石 9030 型-$B\times L$
		半圆形磨石 9040 型-$B\times C\times L$

（6）超精磨石型号（表 5-56）

表 5-56　超精磨石型号

（GB/T 14319—2008）

型号	示意图	特征值的标记
54		正方形超 精磨石 5411 型 $B\times L$
		长方形超 精磨石 5410 型 $B\times C\times L$

（7）陶瓷结合剂强力珩磨磨石型号（表 5-57）

表 5-57　陶瓷结合剂强力珩磨磨石型号
（GB/T 14319—2008）

型号	示意图	特征值的标记
54	B B L	正方形 珩磨磨石 5411 型 $B \times L$
	C B L	长方形 珩磨磨石 5410 型 $B \times C \times L$

（8）砂瓦型号（表 5-58）

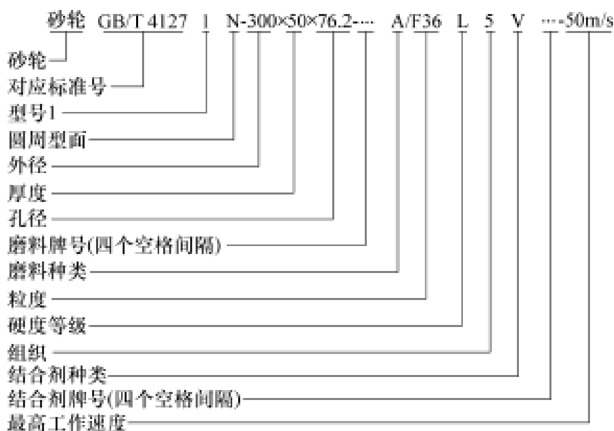
表 5-58　砂瓦型号（GB/T 2484—2006）

型号	示 意 图	特征值的标记
31	C B L	平形砂瓦 3101 型- $B \times C \times L$
	C A B L	平凸形砂瓦 3102 型- $B \times A \times R \times L$

（续）

型号	示 意 图	特征值的标记
31		凸平形砂瓦 3103 型- $B \times A \times R \times L$
		扇形砂瓦 3104 型- $B \times A \times R \times L$
		梯形砂瓦 3109 型- $B \times A \times C \times L$

（9）磨具的标记方法示例（GB/T 2484—2006）



7. 普通磨具的最高工作速度（表5-59）

表5-59　普通磨具的最高工作速度

磨具名称	型号	最高工作速度/(m/s)				
		陶瓷结合剂	树脂结合剂	橡胶结合剂	菱苦土结合剂	增强树脂结合剂
平形砂轮	1	35	40	35	—	—
丝锥板牙抛光砂轮	1	—	—	20	—	—
石墨抛光砂轮	1	—	30	—	—	—
镜面磨砂轮	1	—	25	—	—	—
柔性抛光砂轮	1	—	—	23	—	—
磨螺纹砂轮	1	50	50	—	—	—
树脂重负荷钢坯修磨砂轮	1	—	50~60	—	—	—
筒形砂轮	2	25	30	—	—	—

（续）

磨具名称	型号	最高工作速度/(m/s)				
		陶瓷结合剂	树脂结合剂	橡胶结合剂	菱苦土结合剂	增强树脂结合剂
单斜边砂轮	3	35	40	—	—	—
双斜边砂轮	4	35	40	—	—	—
单面凹砂轮	5	35	40	35	—	—
杯形砂轮	6	30	35	—	—	—
双面凹一号砂轮	7	35	40	35	—	—
双面凹二号砂轮	8	30	30	—	—	—
碗形砂轮	11	30	35	—	—	—
碟形砂轮	12a 12b	30	35	—	—	—
单面凹锥砂轮	23	35	40	—	—	—
双面凹锥砂轮	26	35	40	—	—	—
钹形砂轮	27	—	—	—	—	60～80
砂瓦	31	30	30	—	—	—
螺栓紧固平形砂轮	36	—	35	—	—	—
单面凸砂轮	38	35	—	—	—	—
平形切割砂轮	41	35	50	50	—	60～80
带柄磨头	52	25	25	—	—	—
小砂轮	—	35	35	35	—	—

注：特殊最高工作速度的磨具，应按用户要求制造，但必须有醒目标志。

5.2.2 超硬磨具

1. 超硬磨料的品种、代号及应用范围（表5-60）

表5-60 超硬磨料的品种、代号及应用范围
（GB/T 6405—1994）

类别＼项目	品种	代号	粒度	推荐用途
人造金刚石（GB/T 23536—2009）	磨料级	RVD	35/40～325/400	陶瓷、树脂结合剂磨具；研磨工具等
		MBD		金属结合剂磨具；电镀制品等
	锯切级	SMD	16/18～70/80	锯切、钻探工具、电镀制品等
	修整级	DMD	30/35及以粗	修整工具；单粒或多粒修整器等
	微粉	MPD	M0/0.5～M36/54	精磨、研磨、抛光工具；聚晶复合材料等
立方氮化硼（GB/T 6408—2003）	黑色立方氮化硼	CBN100	50/60，60/70，70/80，80/100，100/200，120/140	树脂、陶瓷、金属结合剂制品
		CBN300		
	琥珀色立方氮化硼	CBN200	140/170，170/200，200/230，230/270，270/325	硬、韧金属材料的研磨和抛光
		CBN400		

2. 粒度

（1）超硬磨料的粒度号及尺寸范围（表 5-61）

表 5-61　超硬磨料的粒度号及尺寸范围

（GB/T 6406—1996）（单位：μm）

范围	粒度号	通过网孔基本尺寸	不通过网孔基本尺寸
窄范围	16/18	1180	1000
	18/20	1000	850
	20/25	850	710
	25/30	710	600
	30/35	600	500
	35/40	500	425
	40/45	425	355
	45/50	355	300
	50/60	300	250
	60/70	250	212
	70/80	212	180
	80/100	180	150
	100/120	150	125
	120/140	125	106
	140/170	106	90
	170/200	90	75
	200/230	75	63
	230/270	63	53
	270/325	53	45
	325/400	45	38

（续）

范围	粒度号	通过网孔基本尺寸	不通过网孔基本尺寸
宽范围	16/20	1180	850
	20/30	850	600
	30/40	600	425
	40/50	425	300
	60/80	250	180

（2）微粉粒度标记及尺寸范围（表 5-62）

表 5-62　微粉粒度标记及尺寸范围

（JB/T 7990—2012）（单位：μm）

粒度标记	公称尺寸范围 D/μm	D_5（最小值）/μm	D_{95}（最大值）/μm	最大颗粒/μm
M0/0.25	0～0.25	0.0	0.25	0.75
M0/0.5	0～0.5	0.0	0.5	1.50
M0/1	0～1	0.0	1.0	3.0
M0.5/1	0.5～1	0.5	1.0	3.0
M1/2	1～2	1.0	2.0	6.0
M2/4	2～4	2.0	4.0	9.0
M3/6	3～6	3.0	6.0	12.0
M4/8	4～8	4.0	8.0	15.0
M5/10	5～10	5.0	10.0	18.5
M6/12	6～12	6.0	12.0	20.0
M8/16	8～16	8.0	16.0	24.0
M10/20	10～20	10.0	20.0	26.0
M15/25	15～25	15.0	25.0	34.0
M20/30	20～30	20.0	30.0	40.0

（续）

粒度标记	公称尺寸范围 D/μm	D_5（最小值）/μm	D_{95}（最大值）/μm	最大颗粒/μm
M25/35	25～35	25.0	35.0	48.0
M30/40	30～40	30.0	40.0	52.0
M35/55	35～55	35.0	55.0	71.5
M40/60	40～60	40.0	60.0	78.0
M50/70	50～70	50.0	70.0	90.0

注：1. D_5 常用于表示粉体细端的粒度指标。
2. D_{95} 常用于表示粉体粗端的粒度指标。

3. 超硬磨料结合剂及其代号、性能和应用范围（表5-63）

表5-63　超硬磨料结合剂及其代号、性能和应用范围

结合剂及其代号	性　能	应　用　范　围
树脂结合剂 B	磨具自锐性好，故不易堵塞，有弹性，抛光性能好，但结合强度差，不宜结合较粗磨粒，耐磨、耐热性差，故不适于较重载荷磨削，可采用镀敷金属衣磨料，以改善结合性能	树脂结合剂的金刚石磨具主要用于硬质合金工件和刀具以及非金属材料的半精磨和精磨；树脂结合剂的立方氮化硼磨具主要用于高钒高速钢刀具的刃磨以及工具钢、不锈钢、耐热合金钢工件的半精磨与精磨
陶瓷结合剂 V	耐磨性较树脂结合剂高，工作时不易发热和堵塞，热膨胀量小，且磨具易修整	陶瓷结合剂的磨具常用于精密螺纹、齿轮的精磨及接触面较大的成形磨，并适于加工超硬材料烧结体的工件

（续）

结合剂及其代号		性　　能	应　用　范　围
金属结合剂 M	青铜结合剂	结合强度较高，形状保持性好，使用寿命较长，且可承受较大载荷。但磨具自锐性能差，易堵塞发热，故不宜结合细粒度磨料，磨具修整也较困难	金属结合剂的金刚石磨具主要用于对玻璃、陶瓷、石料、半导体等非金属硬脆材料的粗、精磨及切割、成形磨以及对各种材料的珩磨；金属结合剂的立方氮化硼磨具用于合金钢等材料的珩磨，效果显著
	电镀金属结合剂	结合强度高，表层磨粒密度较高，且均裸露于表面，故切削刃口锐利，加工效率高。但由于镀层较薄，因此使用寿命较短	电镀金属结合剂的磨具多用于成形磨削。电镀金属结合剂还用来制造小磨头、套料刀、切割锯片及修整滚轮等。电镀金属立方氮化硼磨具用于加工各种钢类工件的小孔，精度好，效率高，对小径不通孔的加工效果尤显优越

4. 浓度代号（表 5-64）

表 5-64　浓度代号（GB/T 6409.1—1994）

代　　号	磨料含量/(g/cm^3)	浓度（%）
25	0.22	25
50	0.44	50
75	0.66	75

（续）

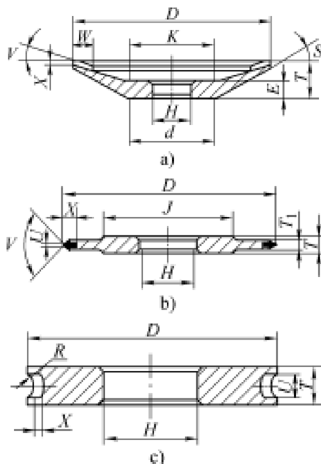
代　　号	磨料含量/（g/cm^3）	浓度（%）
100	0.88	100
150	1.32	150

注：磨料在磨具中的浓度基础值是 100% 时，等于0.88g/cm^3。当金刚石密度为 3.52g/cm^3 时，此值相当于体积的 25%。其他浓度均按此比例计算。

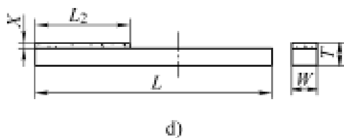
5. 砂轮、磨石及磨头的尺寸代号和术语（表 5-65）

表 5-65　砂轮、磨石、磨头的尺寸代号和术语

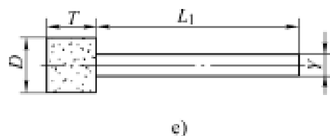
（GB/T 6409.1—1994）



（续）



d)



e)

代号	名称	代号	名称	代号	名称
D	直径	L_1	轴长	U	磨料层厚度（当小于 T 或 T_1 时）
E	孔处厚度	L_2	磨料层长度		
H	孔径	R	半径	V	面角（磨料层）
J	台径	S	基体角度	W	磨料层宽度
K	凹面直径	T	总厚度	X	磨料层深度
L	柄长	T_1	基体厚度	Y	心轴直径

6. 砂轮、磨石及磨头形状及代号（表 5-66）

表 5-66　砂轮、磨石及磨头形状及代号（GB/T 6409.1—1994）

系列	名　称	形　　状	代号
平行系	平形砂轮		1A1
	平形倒角砂轮		1L1
	平形加强砂轮		14A1
	弧形砂轮		1FF1
			1F1
	平形燕尾砂轮		1EE1V
	双内斜边砂轮		1V9
	切割砂轮		1A6Q
	薄片砂轮		1A1R

（续）

系列	名　称	形　　状	代号
平行系	平形小砂轮		1A8
	双斜边砂轮		1E6Q
			14E6Q
			14EE1
			14E1
			1DD1
	单斜边砂轮		4B1
	单面凹砂轮		6A2
	双面凹砂轮		9A1
			9A3

（续）

系列	名　称	形　　　状	代号
筒形系	筒形砂轮		6A2T
	筒形 1 号砂轮		2F2/1
	筒形 2 号砂轮		2F2/2
	筒形 3 号砂轮		2F2/3

（续）

系列	名　称	形　　状	代号
杯形系	杯形砂轮		6A9
	碗形砂轮		11A2
			11V9
碟形系	碟形砂轮		12A2/20°
			12A2/45°
			12D1
			12V9
			12V2
专用加工系	磨边砂轮		1DD6Y
			2EEA1V

（续）

系列	名　称	形　　　状	代号
专用加工系	磨盘		1A2
			10X6A2T
磨石类	带柄平形磨石		HA
	带柄弧形磨石		HH
	带柄三角磨石		HEE
	平形带弧磨石		HMA/1
	平形磨石		HMA/2
	弧形磨石		HMH
	平形带槽磨石		2HMA
	基体带斜磨石		HMA/S°

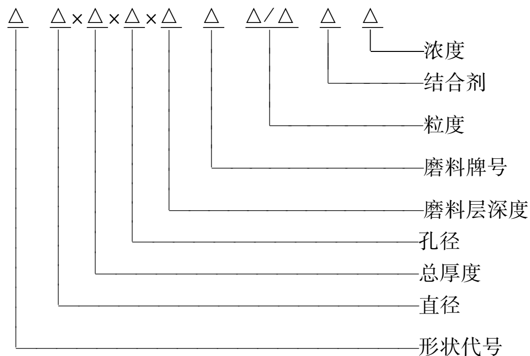
（续）

系列	名　称	形　　　状	代号
磨头类	磨头		1A1W

7. 标记示例

超硬磨具及制品的标记，应包括产品形状代号、特征尺寸、磨料牌号和粒度、结合代号、浓度等若干要素，构成完整的产品标记。

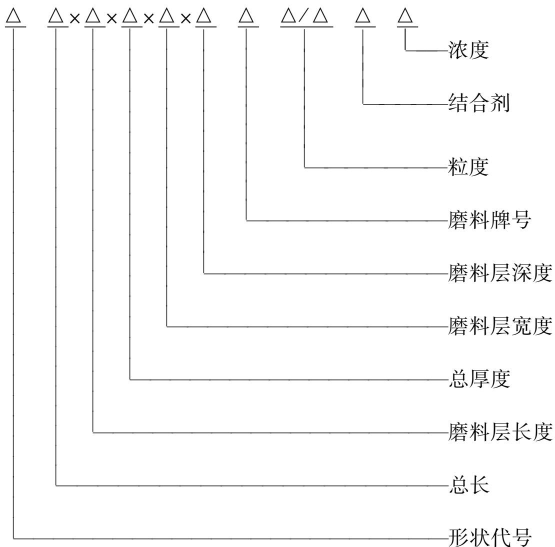
（1）砂轮



示例：形状代号 1A1、D = 50mm、T = 4mm、H = 10mm、X = 3mm、磨料牌号 RVD、粒度 100/120、结合剂 B、浓度 75 的砂轮标记为：

1A1 50 ×4 ×10 ×3　RVD 100/120　B 75

（2）磨石



示例：形状代号 HA、L = 150mm、L_2 = 40mm、T = 10mm、W = 10mm、X = 2mm、磨料牌号 RVD、粒度 120/140、结合剂 B、浓度 75 的磨石标记为：

HA 150×40×10×10×2　RVD 120/140　B 75

8. 超硬磨料制品形状代号及主要用途（表5-67）

表5-67　超硬磨料制品形状代号及主要用途

名　称	代　号	主要用途
平形砂轮	1A1	外圆、平面、内圆、无心磨、刃磨、螺纹磨、电解磨等
平形倒角砂轮	1L1	
平形加强砂轮	14A1	
弧形砂轮	1FF1	
弧形砂轮	1F1	
平形燕尾砂轮	1EE1V	
双内斜边砂轮	1V9	
切割砂轮	1A6Q	切割非金属材料
薄片砂轮	1A1R	
平形小砂轮	1A8	磨内孔、模具整形
双斜边砂轮	1E6Q	外圆、平面、内圆、无心磨、刃磨、螺纹磨、电解磨、磨槽、磨齿等
双斜边砂轮	14E6Q	
双斜边砂轮	14EE1	
双斜边砂轮	14E1	
双斜边砂轮	1DD1	
单斜边砂轮	4B1	
单面凹砂轮	6A2	
双面凹砂轮	9A1	
双面凹砂轮	9A3	

（续）

名　　称	代　号	主　要　用　途
筒形砂轮	6A2T	铣磨光学玻璃平面、球面、弧面等
筒形 1 号砂轮	2F2/1	
筒形 2 号砂轮	2F2/2	
筒形 3 号砂轮	2F2/3	
杯形砂轮	6A9	刃磨
碗形砂轮	11A2	刃磨、电解磨
碗形砂轮	11V9	磨齿形面
碟形砂轮	12A2/20°	磨铣刀、铰刀、拉刀、齿轮、齿面、锯齿、端面磨、平面磨、电解等
碟形砂轮	12A2/45°	
碟形砂轮	12D1	
碟形砂轮	12V9	
碟形砂轮	12V2	
磨边砂轮	1DD6Y	
磨边砂轮	2EEA1V	光学镜片、玻璃磨边
磨边砂轮	14A1	
磨边砂轮	2D9	
磨边砂轮	9A1	
磨边砂轮	1A1	
精磨片	1A8/1	

（续）

名　　称	代　号	主　要　用　途
精磨片	1P8/2	精磨和超精磨光学镜片、玻璃、陶瓷、宝石等
精磨片	1A2/3	
精磨片	1A2/4	
带柄平形磨石	HA	修磨硬质合金、钢制模具
带柄弧形磨石	HH	
带柄三角磨石	HEE	
平行带弧磨石	HMA/1	
平形磨石	HMA/2	精密珩磨淬火钢、不锈钢、铸铁、渗氮钢等内孔
弧形磨石	HMH	
平形带槽磨石	2HMA	
基体带斜磨石	HMA/S	
磨头	1A1W	雕刻、内孔及复杂面
电镀平头扁锉	CP1	钳工修整工具、模具等
电镀尖头圆锉	CJ1	
电镀尖头方锉	CJ2	
电镀尖头等边三角形锉	CJ3	
电镀尖头圆锉	CJ4	
电镀尖头双边圆扁锉	CJ5	
电镀尖头刀形锉	CJ6	
电镀尖头三角锉	CJ7	
电镀尖头双半圆锉	CJ8	
电镀尖头椭圆锉	CJ9	

第6章　车 工 技 术

6.1　车刀的手工刃磨[1]

6.1.1　砂轮的选择

刃磨车刀常用的砂轮有两种：一种是白刚玉（WA）砂轮，其砂粒韧性较好，比较锋利，硬度稍低，适用于刃磨高速钢车刀（一般选用 F46 ~ F60 粒度）；另一种是绿碳化硅（GC）砂轮，其砂粒硬度高，切削性能好，适用于刃磨硬质合金车刀（一般选用 F46 ~ F60 粒度）。

6.1.2　刃磨步骤

1）先把车刀前面、主后面和副后面等处的焊渣磨去，并磨平车刀的底平面。

2）粗磨主后面和副后面的刀柄部分，其后角应比刀片的后角大 2° ~3°，以便刃磨刀片的后角。

3）粗磨刀片上的主后面、副后面和前面，粗磨出来的主后角、副后角应比所要求的后角大2°左右（图6-1）。

4）精磨前面及断屑槽。断屑槽一般有两种形状，即直线形和圆弧形。刃磨圆弧形断屑槽，必须把砂轮的外圆与平面的交接处修整成相应的圆弧。刃磨直线形断屑槽，砂轮的外圆与平面的交接处应修整得尖锐。刃磨时，刀尖可向上或向下磨削（图 6-2），应注意断屑槽的形状、位置及前角大小。

---

[1] 车刀切削部分几何角度见第 5 章 5. 1. 2 车刀。

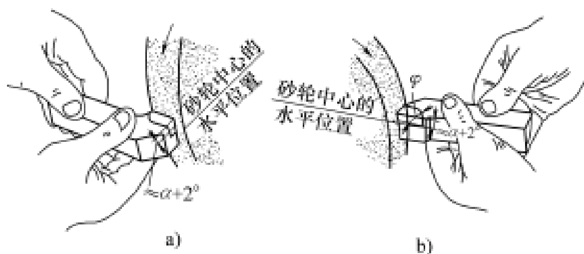


图 6-1　粗磨主后角、副后角

a）粗磨主后角　b）粗磨副后角

5）精磨主后面和副后面。刃磨时，将车刀底平面靠在调整好角度的台板上，使切削刃轻靠住砂轮端面进行刃磨，刃磨后的刃口应平直。精磨时，应注意主后角和副后角的角度（图 6-3）。

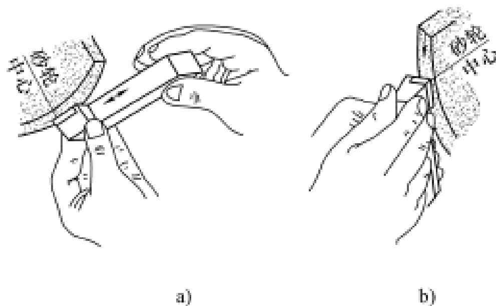


图 6-2　磨断屑槽

a）在砂轮右角上刃磨　b）在砂轮左角上刃磨

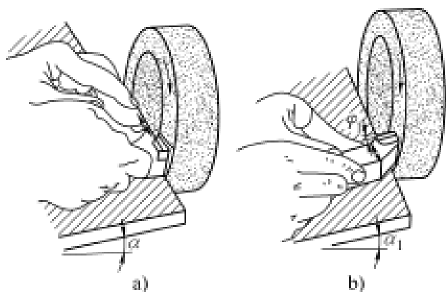


图 6-3　精磨主、副后刀面

a）精磨主后刀面　b）精磨副后刀面

6）磨负倒棱。刃磨时，用力要轻，车刀要沿主切削刃的后端向刀尖方向摆动。磨削时可以用直磨法和横磨法（图 6-4）。

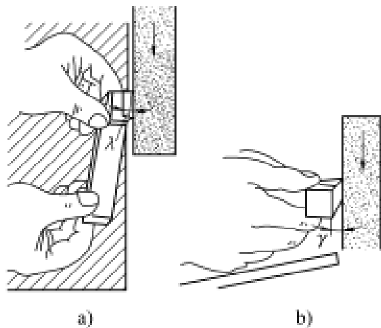


图 6-4　磨负倒棱

a）直磨法　b）横磨法

7）磨过渡刃。过渡刃有直线形和圆弧形两种，刃磨方法和精磨后面基本相同（图 6-5）。

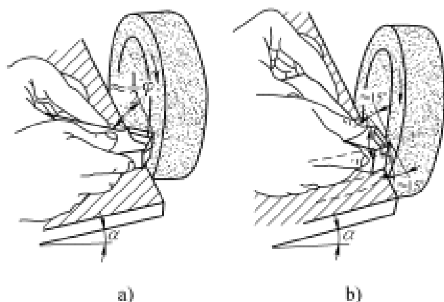


图 6-5　磨过渡刃

a）磨直线形过渡刃　b）磨圆弧形过渡刃

对于车削较硬材料的车刀，也可以在过渡刃上磨出负倒棱。对于大进给量车刀，可用相同方法在副切削刃上磨出修光刃（图 6-6）。

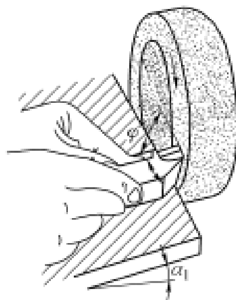


图 6-6　磨修光刃

刃磨后的切削刃一般不够平滑光洁，刃口呈锯齿形，切削时会影响工件的表面粗糙度，所以手工刃磨后的车刀，应用磨石进行研磨，以消除刃磨后的残留痕迹。

6.2　标准麻花钻的刃磨及修磨㊀

6.2.1　标准麻花钻的刃磨方法

刃磨时（图 6-7），右手握住钻头的工作部分，食指尽可能靠近切削部分作钻头摆动的支点，并掌握好钻头绕轴线的转动和加在砂轮上的压力。将主切削刃与砂轮中心平面放置在一个水平面内，而且使钻头的轴线与砂轮圆柱面母线在水平面内的夹角为 ϕ。左手握住钻柄做上下摆动。钻头转动的目的是使整个后面都能磨到，上下摆动磨出不同后角（钻头的后角在钻头的不同半径处是不相等的）。两手的动作必须稳定，协调一致，转动的同时上下摆动，磨好一个主切削刃后，翻转 180° 磨另一个主切削刃。

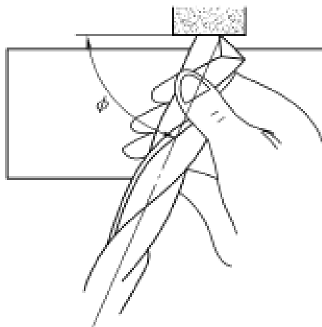


图 6-7　刃磨钻头主切削刃

㊀　标准麻花钻头的切削角度见第 5 章 5.1.3 孔加工刀具 1. 麻花钻。

粗磨时，一般后面的下部先接触砂轮，左手上摆进行刃磨；精磨时，一般主切削刃先接触砂轮，左手下摆进行刃磨，而且磨削量要小，刃磨时间要短。在刃磨过程中，要随时检查角度的正确性和对称性，同时还要随时将钻头浸入水中冷却以免退火。

主切削刃刃磨后应对以下几方面进行检查：

1）检查顶角 2ϕ 的大小是否正确，是否对称于钻头轴线。

2）检查两主切削刃是否长短一致，高低一致。

检查以上两项时，把钻头切削部分向上竖立，两眼平视，观察两切削刃，并反复多次旋转 180°进行观察，如结果一样，就说明对称了。

3）钻头外缘处的后角可直接用目测检查。近中心处的后角，可以通过检查横刃斜角 ψ 是否正确来确定。

6.2.2　标准麻花钻的修磨

1）标准麻花钻几何形状的分析。标准麻花钻由于结构上的原因，其切削部分的几何形状不尽合理，主要有以下几个方面：

① 钻头横刃较长，横刃前角为负值，钻削时，实际上不是切削，而是刮削和挤压，进给增大。同时横刃过长，钻头的定心作用较差，钻削时容易产生振动。

② 主切削刃上各点的前角大小不一样，使切削性能不同。尤其靠近横刃处前角为负值，切削条件很差，实际处于刮削状态。

③ 主切削刃外缘处的刀尖角较小，前角很大，刀齿强度很低，而钻削时此处的切削速度又最高，故容易

磨损。

④ 主切削刃长，而且全部参加切削，各处切屑排出的速度相差较大，使切屑卷曲成螺旋卷，容易在螺旋槽内堵塞，影响排屑和切削液的注入。

⑤ 钻头导向部分棱边较宽，而且副后角为 0°，所以靠近切削部分的一段棱边与孔壁的摩擦比较严重，故容易发热和磨损。

综上分析，标准麻花钻的几何形状不能适应加工各种材料和不同加工条件的需要，所以通常要对标准麻花钻的几何形状进行适当的修磨。

2）标准麻花钻的修磨方法如下：

① 修磨主切削刃（修磨顶角 2ϕ）。标准麻花钻顶角 $2\phi = 118°$，修磨时应根据加工材料的不同做对应修磨。

修磨主切削刃时，可磨出第二顶角 $2\phi_0$（图6-8），即在外缘处磨出过渡刃。一般 $2\phi_0 = 70° \sim 75°$，$f_0 = 0.2d$。其目的是增加切削刃的总长度和增大刀尖角 ε_r，从而增加刀齿强度，使切削刃与棱边交角处的耐磨性提高，提高钻头使用寿命。同时也有利于减小孔壁表面粗糙度值。

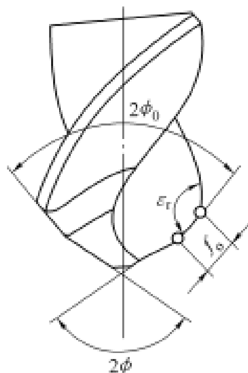


图 6-8　修磨主切削刃

② 修磨横刃（图 6-9）。修磨横刃的目的是减短横刃长度，并使靠近钻芯处的前角增

大，以减小切削时的进给力和挤刮现象，改善定心作用。修磨后横刃长度为原来的1/5～1/3，并形成内刃，内刃斜角 $\tau=20°\sim30°$，内刃前角 $\gamma_{o\tau}=-15°\sim0°$。一般钻头直径在5mm以上的均需修磨横刃。

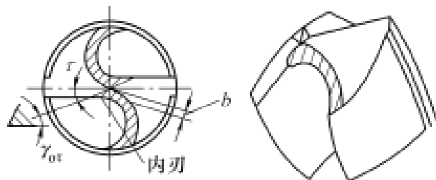


图6-9　修磨横刃

③ 修磨分屑槽。一般直径大于15mm的钻头，在钻削钢件时，都应在钻头的主后刀面修磨出几条相互错开的分屑槽（图6-10），以使切屑变窄，排屑顺利。

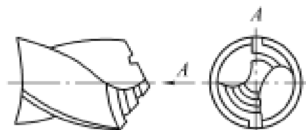


图6-10　修磨分屑槽

④ 修磨前刀面。修磨前刀面是将钻头主切削刃和副切削刃交角处的前刀面磨去一块（图6-11），以减小此处的前角，提高刀齿的强度。

⑤ 修磨棱边。修磨棱边是为减少棱边与孔壁的摩擦，提高钻头使用寿命。修磨后的副后角 $\alpha'_o=6°\sim8°$，但必

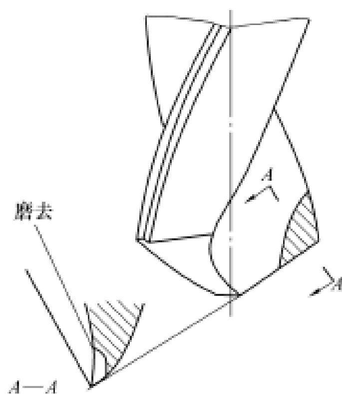


图 6-11　修磨前刀面

须保留 0.2～0.4mm 宽的未经修磨的棱边。副后角修磨长度 $L=(0.1\sim0.2)d$（图 6-12）。

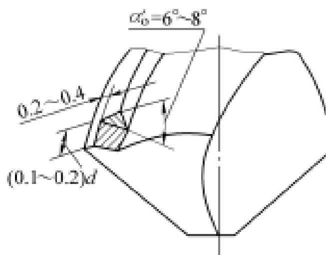


图 6-12　修磨棱边

6.3 中心孔的加工与修研

中心孔是轴类零件常用的定位基面，中心孔的质量直接影响轴的加工精度，所以对中心孔的加工有如下的要求：

1）两端中心孔应在同一轴线上而且深度应一致。

2）保证中心孔的圆度。

3）中心孔位置应保证工件加工余量均匀。

4）中心孔的尺寸应与工件的直径尺寸相适应。

6.3.1 中心孔的加工及质量分析

在车床上钻中心孔前必须将尾座严格地找正，使其对准主轴中心（图 6-13）。

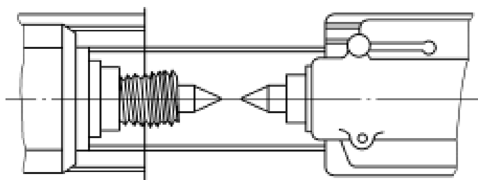


图 6-13 找正尾座与主轴对中心

直径 6mm 以下的中心孔通常用中心钻直接钻出。

1）在直径较小的工件上钻中心孔。把工件夹紧在卡盘上，尽可能伸出短些，找正后，端面车平，不允许留有凸头。把中心钻装在钻夹头中夹紧，并直接或用锥形套柄

过渡插入车床尾座套筒的锥孔中。然后缓慢均匀地摇动尾座手轮，当中心钻钻入工件端面时（图 6-14），速度要减慢，并保持均匀，加切削液，还应勤退刀，及时清除切屑。当中心孔钻到尺寸时，先停止进给，再停机，利用主轴惯性使中心孔表面修圆整后再退出。

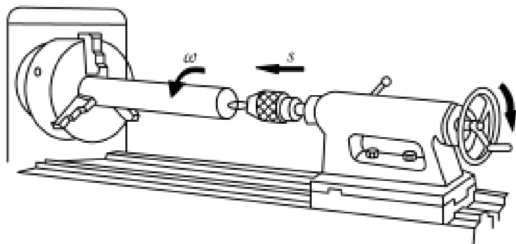


图 6-14　在车床上钻中心孔

2）在直径大而长的工件上钻中心孔。如果工件直径较大，而且又长，不能通过车床主轴孔内，这时采用卡盘夹持及中心架支承的方法钻中心孔（图 6-15）。

3）钻 C 型中心孔（图 6-16）。用两个不同直径的钻头钻螺纹底孔和短圆柱孔（图 6-16a、b），内螺纹用丝锥攻出（图 6-16c），60°及 120°锥面可用 60°及 120°锪钻锪出（图 6-16d、e）或用改制的 B 型中心钻钻出（图 6-16f）。

4）中心孔质量分析（图 6-17）。正确的中心孔形状如图 6-17a 所示。

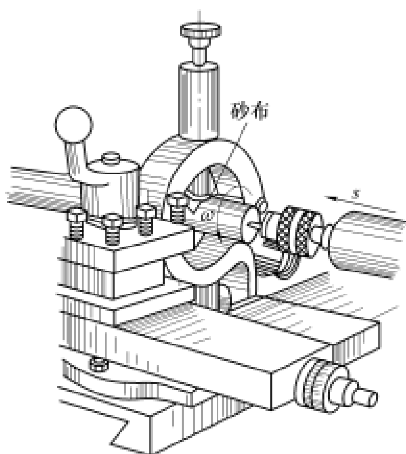


图 6-15 用中心架支承钻中心孔

中心孔钻得过深（图 6-17b），使顶尖跟中心孔不能锥面配合，接触不好；工件直径很小（图 6-17c），但中心孔钻得很大，使工件因没有端面而形成废品；中心孔钻偏（图 6-17d、e），使工件毛坯车不到规定尺寸而造成废品；两端中心孔连线与工件轴线不重合（图 6-17f），造成工件余量不够而成废品；中心钻磨损以后，圆柱部分修磨得太短（图 6-17g），造成顶尖与中心孔的底相碰，使 60°锥面不接触而影响加工精度。

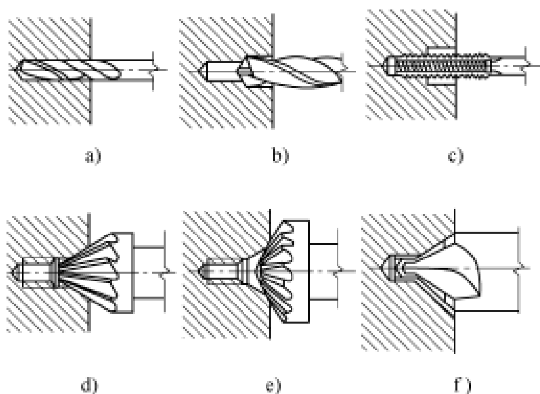


图 6-16　C 型中心孔的加工

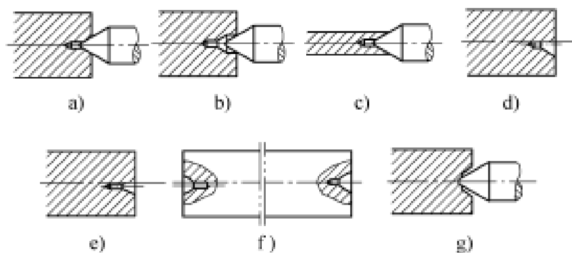
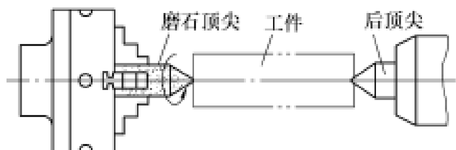


图 6-17　中心孔质量分析

6.3.2　中心孔的修研

零件在加工过程中，由于中心孔的磨损及热处理后的氧化变形，因此有必要对中心孔进行修研，以保证定位精度。中心孔修研方法见表 6-1。

表 6-1　中心孔修研方法



方　　法	修　研　要　点
用铸铁顶尖修研	将铸铁顶尖夹在车床卡盘上，将工件顶在铸铁顶尖和尾座顶尖之间研磨。修研时加研磨剂
用磨石或橡胶砂轮修研	方法同上，磨石或橡胶砂轮代替铸铁顶尖。修研时加少量润滑剂（如用低运动黏度的全损耗系统用油）
用成形内圆砂轮修磨	主要用于修研淬火变形和尺寸较大的中心孔。将工件夹在内圆磨床卡盘上，找正外圆后，用成形内圆砂轮修磨
用硬质合金顶尖刮研	在立式中心孔研磨机上，用四棱硬质合金顶尖进行。刮研时，加入氧化铬研磨剂
用中心孔磨床修磨	修磨时，砂轮做行星运动，并沿 30°方向进给。适用于修磨淬硬的精密零件中心孔，圆度可达 0.8μm

6.4 车削圆锥面

6.4.1 锥体各部分名称代号及尺寸计算（表 6-2）

表 6-2 锥体各部名称代号及尺寸计算

	尺寸名称和代号	计 算 公 式
D—最大圆锥直径 d—最小圆锥直径 d_x—给定截面圆锥直径 L—圆锥长度 α—圆锥角 $\alpha/2$—圆锥半角	斜度 S	$S=\tan\dfrac{\alpha}{2}$ $S=\dfrac{D-d}{2L}$ $S=\dfrac{C}{2}$
	锥度 C	$C=2S$ $C=2\tan\dfrac{\alpha}{2}$ $C=\dfrac{D-d}{L}$
	大头直径 D	$D=d+2L\tan\dfrac{\alpha}{2}$ $D=d+CL$ $D=d+2LS$
	小头直径 d	$d=D-2L\tan\dfrac{\alpha}{2}$ $d=D-CL$ $d=D-2LS$

6.4.2　车削圆锥面方法（表6-3）

表6-3　车削圆锥面方法

方法	简　　图	应用及有关计算
转动小刀架车锥体方法	a） b） a）车削外锥面　b）车削内锥面	圆锥长度较短、斜角 $\alpha/2$ 较大时采用。车削时，把小滑板按零件要求，转动一个圆锥半角 $\alpha/2$ $\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{C}{2}$ $\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{D-d}{2L}$

（续）

方法	简　　图	应用及有关计算
用靠模板车锥体方法		圆锥精度高、角度小、尺寸相同和数量较多时采用： $B = H \times \dfrac{D-d}{2L} = H\tan\dfrac{\alpha}{2}$ $B = \dfrac{H}{2} \times C$（锥度） 式中　H——靠模板转动中心到刻线处的距离，称为支距； $\dfrac{\alpha}{2}$——靠模板旋转角度，它等于圆锥体的斜角，计算公式与小刀架转动角度相同； B——靠模板的偏移量

（续）

方法	简　　图	应用及有关计算
用偏移尾座车削锥体方法		圆锥精度要求不高，锥体较长而锥度又较小时采用，当工件全长 l 不等于锥形部分长度 L 时： $$S'=\frac{l}{2}\times\frac{D-d}{L}$$ $$S'=\frac{l}{2}C \text{ 或 } S'=lS$$ 当工件全长 l 等于锥形部分长度 L 时： $$S'=\frac{D-d}{2}$$ 式中　S'——偏移量
用宽切削刃车锥体方法		用切削刃与主轴轴线的夹角等于工件圆锥半角 $\alpha/2$ 的车刀，直接车出圆锥面

6.4.3　车削标准锥度和常用锥度时小刀架及靠模板的转动角度（表6-4）

表6-4　车削标准锥度和常用锥度时小刀架和靠模板的转动角度

锥体名称		锥度	小刀架和靠模板的转动角度（锥体斜角）	锥体名称	锥度	小刀架和靠模板的转动角度（锥体斜角）
莫氏	0	1∶19.212	1°29′27″	常用锥度	1∶200	0°08′36″
	1	1∶20.047	1°25′43″		1∶100	0°17′11″
	2	1∶20.020	1°25′50″		1∶50	0°34′23″
	3	1∶19.922	1°26′16″		1∶30	0°57′17″
	4	1∶19.254	1°29′15″		1∶20	1°25′56″
	5	1∶19.002	1°30′26″		1∶15	1°54′33″
	6	1∶19.180	1°29′36″		1∶12	2°23′09″
30°		1∶1.866	15°		1∶10	2°51′45″
45°		1∶1.207	22°30′		1∶8	3°34′35″
60°		1∶0.866	30°		1∶7	4°05′08″
75°		1∶0.652	37°30′		1∶5	5°42′38″
90°		1∶0.5	45°		1∶3	9°27′44″
120°		1∶0.289	60°		7∶24	8°17′46″

6.4.4　车削圆锥时尺寸的控制方法

在车削圆锥工件时，一般用环规或塞规检验工件的锥度和尺寸。当锥度已车准，而尺寸未达到要求时，必须再进刀车削。当用量规测量出长度 a 后（图6-18），可用以下方法确定横向进刀量。

1）计算法：

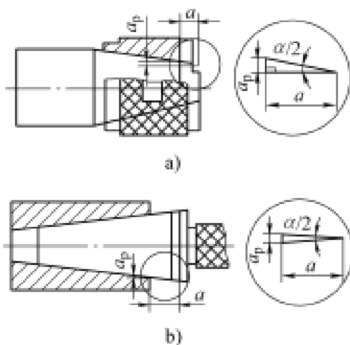


图 6-18　圆锥尺寸控制方法

a）车圆锥体　b）车圆锥孔

$$a_p = a\tan\frac{\alpha}{2} \quad 或 \quad a_p = a \times \frac{C}{2}$$

式中　a_p——当界限量规刻线或台阶中心离开工件端面距离 a 时的进刀深度（mm）；

$\frac{\alpha}{2}$——圆锥斜角；

C——锥度。

例 1　已知工件的圆锥斜角 $\frac{\alpha}{2} = 1°30'$，用套规测量时，工件小端离开套规台阶中心为 4mm，进刀量多少才能使小端直径尺寸合格?

解　$a_p = a\tan\frac{\alpha}{2} = 4 \times \tan1°30'\text{mm}$

$$=4\times0.02619\text{mm}=0.105\text{mm}$$

例 2　已知工件锥度为 1∶20，用环规测量工件小端时，小端离开环规阶台中心为 2mm，进刀深度多少才能使小端直径尺寸合格？

解　$$a_{\mathrm{p}}=a\times\frac{C}{2}=2\times\frac{\frac{1}{20}}{2}\text{mm}=2\times\frac{1}{40}\text{mm}=0.05\text{mm}$$

2）移动床鞍法。当用界限量规量出长度 a 后（图 6-19），取下量规，使车刀轻轻接触工件小端面，接着移动小滑板，使车刀离开工件端面一段 a 的距离，然后移动床鞍使车刀同工件端面接触，这时即可进行车削。

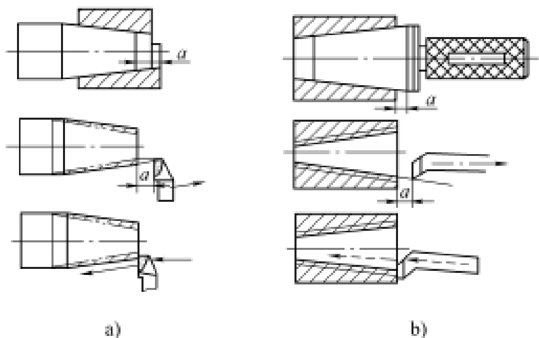


图 6-19　移动床鞍法

a）车圆锥体　b）车圆锥孔

6.5　车削偏心工件

在机械传动中，回转运动变为往复直线运动或直线运动变为回转运动，一般都是用偏心轴或曲轴（曲轴是形状比较复杂的偏心轴）来完成的。

偏心轴即工件的外圆和外圆之间的轴线平行而不相重合。偏心套即工件的外圆和内孔的轴线平行而不相重合，这两条轴线之间的距离称为“偏心距”。

车削偏心的方法，应按工件的不同数量、形状和精度要求相应地采取不同的装夹方法，但最终应保证所要加工的偏心部分轴线与车床主轴旋转轴线重合。

6.5.1　车削偏心工件的装夹方法（表6-5）

6.5.2　车削曲轴的装夹方法

曲轴实际就是多拐偏心轴，其加工原理跟加工偏心轴基本相同。车削曲轴的装夹方法见表6-6。

对于大型多拐曲轴，一般用锻件（锻钢）或铸件（铸钢或球墨铸铁）。加工这类曲轴时一般在带有偏心卡盘的专用曲拐车床上加工，当用大型普通机床时应设计制造专用工装，其中包括对机床尾座的改装，以提高装夹刚性。

表 6-5　车削偏心工件的装夹方法

方法	简　　图	应用说明
用顶尖拨顶	a) b) c)	这种方法适用于加工较长的偏心工件，在加工前应在工件两端划出中心点的中心孔和偏心点的中心孔，并加工出中心孔，然后用前后顶尖顶住，便可以加工了（图 a） 若偏心轴的偏心距较小，在钻偏心中心孔时可能跟主轴中心孔相互干涉。这时可按图 b 增加工艺凸台，即把工件的长度放长两个中心孔的深度。加工时，可先把毛坯车成光轴，然后车去两端中心孔至工件长度，再划线，钻偏心中心孔，车偏心轴 图 c 是采用套筒装夹工件后，再用顶尖拨顶的方法

（续）

方法	简　　图	应用说明
单动卡盘装夹	工件	这种方法适用于加工偏心距较小、精度要求不高、形状较短、数量较少的偏心工件
自定心卡盘装夹	自定心卡盘 垫片 工件	这种方法适用于加工数量较大、长度较短、偏心距较小、精度要求不高的偏心工件。其垫片厚度计算如下： $x = 1.5e \pm K$ 式中　K——修正系数，$K = 1.5\Delta e$； Δe——实测偏心距误差； +——用于实测偏心距 $e' < e$； -——用于实测偏心距 $e' > e$

（续）

方法	简　　图	应用说明
花盘装夹	花盘 压板 e 工件 定位块 90°	这种方法适用于加工工件长度较短、直径大、精度要求不高的偏心孔工件
双卡盘装夹	自定心卡盘 单动卡盘 工件 e	这种方法适用于加工长度较短、偏心距较小、数量较大的偏心工件

（续）

方法	简　　图	应用说明
偏心卡盘装夹	1—固定测头　2—活动测头　3—丝杠 4—滑座　5—滑块　6—自定心卡盘	这种方法适用于加工短轴、盘、套类较精密的偏心工件，其优点是装夹方便，偏心距可以调整，能保证加工质量，并能获得较高的精度，通用性强

（续）

方法	简　　图	应用说明
专用夹具装夹	 a)用偏心套车偏心轴　b)用偏心轴车偏心套	这种方法适用于加工精度要求高而且批量较大的偏心工件。加工前应根据工件上的偏心距加工出相应的偏心轴或偏心套，然后将工件装夹在偏心套或偏心轴上进行车削

表 6-6　车削曲轴的装夹方法

曲轴形式	装夹方法简图	说　明
单拐曲轴	平衡铁	主轴一端用卡盘夹轴颈，尾座一端用顶尖顶夹法兰盘，加工轴颈，并配有平衡铁
双拐曲轴	平衡铁	主轴一端花盘上安装卡盘，调整偏心距，夹其轴颈。尾座一端专用法兰盘上配有偏心的中心孔，用顶尖顶夹，加工拐颈
三拐曲轴	平衡铁	主轴一端按偏心距配作专用夹具装夹轴颈，尾座一端专用法兰盘上配有偏心的中心孔，用顶尖顶夹，加工拐颈

（续）

曲轴形式	装夹方法简图	说　　明
多拐曲轴		主轴一端花盘上安装卡盘，调整偏心距，夹其轴颈。尾座一端专用法兰盘上配有偏心的中心孔，用顶尖顶夹，加工拐颈

6.5.3　测量偏心距的方法

1. 用心轴和指示表测量（图 6-20）

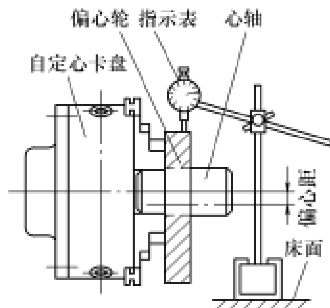


图 6-20　用心轴和指示表测量偏心轮

这种测量方法适用于精度要求较高而偏心距较小的偏心工件。用指示表测量偏心工件，是以孔作为基准面，用一个夹在自定心卡盘上的心轴支承工件。指示表的测头指在偏心工件的外圆上，将偏心工件的一个端面靠在卡爪上，缓慢转动。指示表上的读数应该是两倍的偏心距，否则工件的偏心距就不合格。

2. 用等高 V 形架和指示表测量（图 6-21）

用指示表测量偏心轴时，可将偏心轴放在平板上的两个等高的 V 形架上支承。指示表的测头指在偏心轴的外圆上，缓慢转动偏心轴。指示表上的读数也应该等于两倍偏心距。

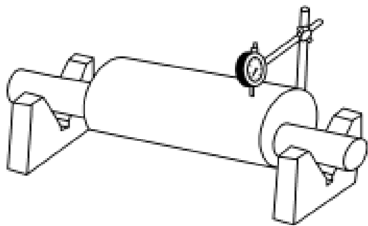


图 6-21　用等高 V 形架和指示表测量偏心轴

以上两种方法中，指示表也可装在高度游标卡尺上使用（图 6-22），以扩大测量范围。

3. 用两顶尖和指示表测量（图 6-23）

这种方法适用于两端有中心孔、偏心距较小的偏心轴测量。其测量方法是将工件装夹在两顶尖之间，指示表的

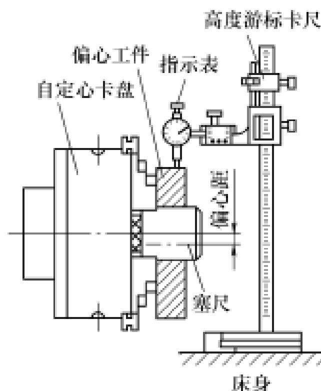


图 6-22　指示表与高度游标卡尺配合测量偏心工件

测头指在偏心工件的外圆上。用手转动偏心轴，指示表上的读数应是偏心距的两倍。

偏心套的偏心距也可用上述的方法来测量，但是必须将偏心套装在心轴上才能测量。

4. 用 V 形架间接测量（图 6-24）

因受指示表测量范围的限制，偏心距较大的工件可用间接测量偏心距的方法。把工件放在平板上的 V 形架上，转动偏心轴，用指示表量出偏心轴的最高点。工件固定不动，水平移动指示表，测出偏心轴外圆到基准轴外圆之间的距离 a，然后用下式计算出偏心距：

$$e = D/2 - d/2 - a$$

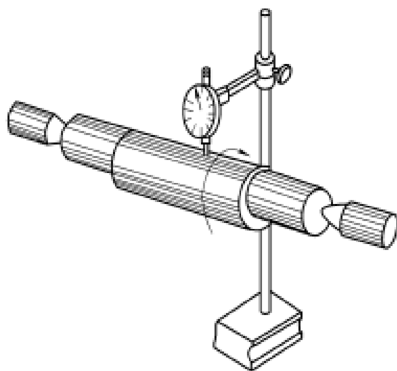


图 6-23　在两顶尖上测量偏心工件

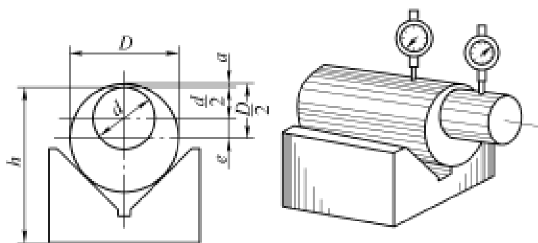


图 6-24　用 V 形架间接测量偏心距

式中　e——偏心距（mm）；

D——基准轴直径（mm）；

d——偏心轴直径（mm）；

a——基准轴外圆到偏心轴外圆之间的最小距离（mm）。

用这种方法，必须把基准轴直径和偏心轴直径用千分尺测量出正确的实际尺寸，否则计算时会产生误差。

6.6 车削成形面

有些机器零件的表面不是平面，而是由若干个曲面组成的，如手轮、手柄、圆球、凸轮等，这类零件表面称为成形面（也称特形面）。对于这类零件的加工，应根据零件的特点、精度要求及批量大小等不同情况，分别采用不同方法进行加工。

成形面车削常用方法见表 6-7。

表 6-7 成形面车削常用方法

方法	示 意 图	特 点
普通成形刀	a) 整体成形车刀 b) 整体成形车刀的使用方法	这种成形刀的切削刃廓形根据工件的成形表面刃磨，刀体结构和装夹与普通车刀相同。制作方便、可用手工刃磨，但精度较低。若精度要求较高时，可在工具磨床上刃磨。常用于加工简单的成形面

（续）

方法	示　意　图	特　　点
棱形成形刀	a) 棱形成形刀 刀头 燕尾块 弹簧刀杆 b) 棱形成形刀使用方法	这种成形刀由刀头和刀杆两部分组成。刀头的切削刃按工件的形状在工具磨床上用成形砂轮磨削成形，后部有燕尾块，用来安装在弹性刀杆的燕尾槽中，用螺钉紧固。刀杆上的燕尾槽做成倾斜，这样成形刀就产生了后角，切削刃磨损后，只要刃磨刀头的前面。切削刃磨低后，可以将刀头向上拉起，直至刀头无法夹住为止。这种成形刀精度高，寿命长，但制造比较复杂
圆形成形刀	a）圆形成形刀	这种成形刀做成圆轮形，在圆轮上开有缺口，使它形成前面和主切削刃。使用时，将它装夹在弹性刀杆上。为了防止圆轮转动，在侧

（续）

方法	示 意 图	特 点
圆形成形刀	b）圆形成形刀使用方法	面做出端面齿，使之与刀杆侧面上的端面齿相啮合。圆形成形刀的主切削刃必须比圆轮中心低一些，否则后角为零
纵向靠模板车削	 1—成形面 2—拉杆 3—滚柱 4—靠模板 5—支架	在车床上用靠模板方法车削成形面，实际上和用靠模车圆锥的方法基本上相同。只需把锥度靠模板换上一个带有成形面的靠模板就行了 这种用靠模板车削成形面的方法，操作方便、形面准确、质量稳定，但只能加工成形面变化不大的工件
横向靠模车削		靠模板由靠模支架固定在车床尾座上。拆除小刀架，将装有刀杆的板架装于中滑板上，车削时，中滑板横向进给适于加工成形端面

（续）

方法	示　意　图	特　　点
尾座装靠模车削	 1—车刀　2—靠模 3—靠模杆　4—长刀夹	在尾座套筒锥孔内装夹一个标准样件（即靠模），在刀架上装一个长刀夹，在刀夹上装车刀和靠模杆。车削时用双手操纵中、小滑板，使靠模杆始终贴住靠模，并沿着靠模表面移动，使车刀在工件表面上车出与靠模形状相同的成形面。这种方法简单，在一般车床上都可采用

6.7　车削表面的滚压加工和滚花

滚压加工是一种对机械零件表面进行光整和强化加工的工艺。在车床上应用滚压工具在工件表面上做相对滚动，施加一定的压力来强行滚压，可使金属表层产生塑性变形，修正工件表面的微观几何形状，降低表面粗糙度，同时提高工件的表面硬度、耐磨性和抗疲劳强度。这种方法主要用于大型轴类、套筒类零件的内、外旋转表面的加工，滚压螺钉、螺栓等零件的螺纹，以及滚压小模数齿轮和滚花加工等。

6.7.1 滚压加工常用工具及其应用（表6-8）

表6-8 滚压加工常用工具及应用

形式	结构示意图		特　点	注意事项
硬质合金滚轮式内、外圆滚压工具	滚压小尺寸外圆		1）具有滚辗和滚研压两种效应，滚压效果较好 2）滚轮外径较大，减小了滚轮的转速，使滚轮寿命增加，且可采用较高的滚压速度 3）滚压时，无需加油润滑和冷却 4）能滚压带有台阶的轴、短孔、不通孔等的塑性材料的工件	1）工具的滚轮轴线相对工件轴线应在垂直平面内，顺时针方向倾斜（$\lambda=1°$左右），使其具有楔入及滚研压效应 2）安装工具时，应使滚轮轴线相对工件轴线在水平面内，顺时针方向倾斜1°左右（目测时，滚轮
	滚压大尺寸外圆			

（续）

形式		结构示意图	特　　点	注 意 事 项
硬质合金滚轮式内、外圆滚压工具	滚压内孔		1）具有滚辗和滚研压两种效应，滚压效果较好 2）滚轮外径较大，减小了滚轮的转速，使滚轮寿命增加，且可采用较高的滚压速度 3）滚压时，无需加油润滑和冷却 4）能滚压带有台阶的轴、短孔、不通孔等的塑性材料的工件	型面与工件的实际接触宽度为 3 ~ 4mm），以使工件表面的弹性变形区逐渐复原、挤光 3）滚轮的滚辗压角 $\gamma \approx 10° \sim 14°$，以保证顺利楔入工件进行滚辗 4）滚压前，工件表面和滚轮型面应保持清洁无油污。工件表面不应有局部缩孔或硬化现象

（续）

形式	结构示意图		特　　点	注意事项
滚柱式内、外圆滚压工具	滚压外圆	轴瓦 滚柱	1）具有较大的滚研压效应 2）滚柱与工件的接触面小，滚压时，无需施加很大的压力 3）不宜滚压经调质处理的硬度高的工件，对不通孔和有台阶的内孔，不能滚压到底	1）安装工具时，滚柱对准工件中心，并使滚柱轴线相对工件轴线在垂直平面上，顺时针方向倾斜一个 λ 角度 外圆滚压 $\lambda=15°\sim30°$ 内孔滚压 $\lambda=5°\sim25°$ 中小孔滚压 $\lambda=10°$ 2）滚柱与弹夹的配合间隙不宜过大，一般在 0.1mm 左右，否则工件表面会产生振动痕迹
	滚压大孔	弹夹 腰鼓形滚柱		
	滚压小孔	滚动轴承　腰鼓形滚柱　弹夹 10°		

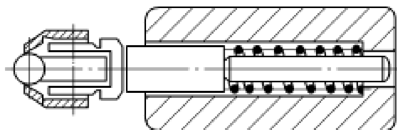
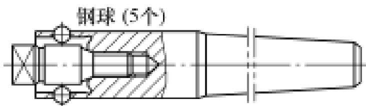
（续）

形式		结构示意图	特　　点	注 意 事 项
硬质合金YZ型深孔滚压工具	滚压深孔	刀杆　螺钉　刀杆　滚轮　L	1）为加工不同尺寸范围的孔径，滚压工具可调节，或改组成不同长度的规格（L = 80 ~ 95mm，95 ~ 110mm，110 ~ 230mm） 2）采用弹性方式滚压，压力均匀，调整方便 3）在滚轮进给方向前面装有滚压导向部分，能保持滚压后的表面粗糙度	1）成组碟形弹簧应采取面对面“《 》”或背对背“》《”的装法 2）滚轮材料为YG6X，其型面可在工具磨床上用碗形砂轮磨出，然后用海绵蘸研磨膏研磨

（续）

形式		结构示意图	特　点	注 意 事 项
圆锥滚柱深孔滚压工具	滚压深孔		1）采用圆锥形滚柱型面。滚压时，滚柱与工件具有30′~1°的斜角，使工件的弹性变形区逐渐复原，以降低孔壁的表面粗糙度 2）与钢珠型面相比，它同工件的接触面增大，从而可加大进给量	1）滚压时，应采用切削液。它可由50%硫化切削液加50%柴油，或全损耗系统用油、煤油配制而成 2）滚柱的压入深度可由调节螺母调整，调节螺母旋转一圈，滚压头直径方向的增减量 x 为 $x=2\times1.5\times\tan30'\text{mm}$ $=0.0262\text{mm}$ 式中，1.5mm为调节螺母的螺距，30′为心轴锥套圆锥体斜角

（续）

形式		结构示意图	特　　点	注 意 事 项
滚珠式滚压工具	滚压外圆		1）采用滚动轴承的滚珠，具有高精度、高硬度、低表面粗糙度等优点 2）滚珠与工件的轴向摩擦力小，因而滚压工具的轴向载荷小 3）滚压内孔的滚压工具，其直径大小可以调节	1）为使滚珠和工件之间的摩擦力大于滚珠和支承之间的摩擦力，滚珠应支承在一个或两个滚动轴承的外环上 2）弹性滚压工具用于滚压精度不太高的场合
	滚压内孔			

6.7.2 滚轮式滚压工具常用的滚轮外圆形状及应用

1）带圆柱形部分（宽度为 b）和斜角的滚轮（图6-25）。这种滚轮适用于滚压长度不受限制的圆柱面或平面。滚压小零件时，$b=2\sim5$mm；滚压大零件时，$b=12\sim15$mm。

2）具有半径 R 的球形面滚轮（图6-26）。这种滚轮适用于滚压刚度较差的零件，圆柱面或平面的长度不受限制。

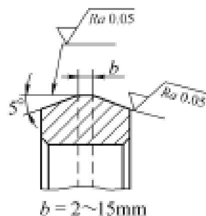


图6-25 带圆柱形部分（宽度为 b）和斜角的滚轮

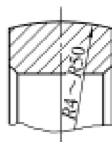


图6-26 具有半径 R 的球形面滚轮

3）凸出部分具有半径 R 的球形面滚轮（图6-27）。这种滚轮适用于滚压零件上的凹槽或凹圆角。

4）具有综合形状的滚轮（图6-28）。这种滚轮适用于滚压零件上的端面（a 部分）、凹形面（R 部分）和圆柱面（b 部分）。

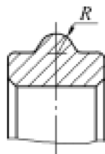


图 6-27　凸出部分具有半径 *R* 的球形面滚轮

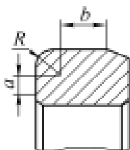


图 6-28　具有综合形状的滚轮

5）滚压特殊形状表面的滚轮（图 6-29）。这种滚轮适用于滚压特殊形状的零件。

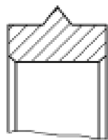


图 6-29　滚压特殊形状表面的滚轮

滚轮可用 T12A、CrWMn、Cr12、5CrNiMn 等材料制造，热处理硬度为 58～65HRC，也可采用硬质合金制造。

滚轮一般支承在滚动轴承上。滚轮的表面粗糙度 *Ra* 一般在 0.2μm 以下。滚轮与相配合心轴的同轴度误差应小于 0.01mm。

6.7.3　滚轮滚压的加工方法

滚轮滚压可加工圆柱形或锥形的外表面和内表面，曲线旋转体的外表面、平面、端面、凹槽，台阶轴的过渡圆角等（图 6-30）。

滚压用的滚轮数量有一个、两个或三个。单一滚轮滚压只能用于具有足够刚度的工件。若工件刚度较小，则须用两个或三个滚轮，在相对的方向上同时进行滚压，以免工件弯曲变形（图 6-31）。

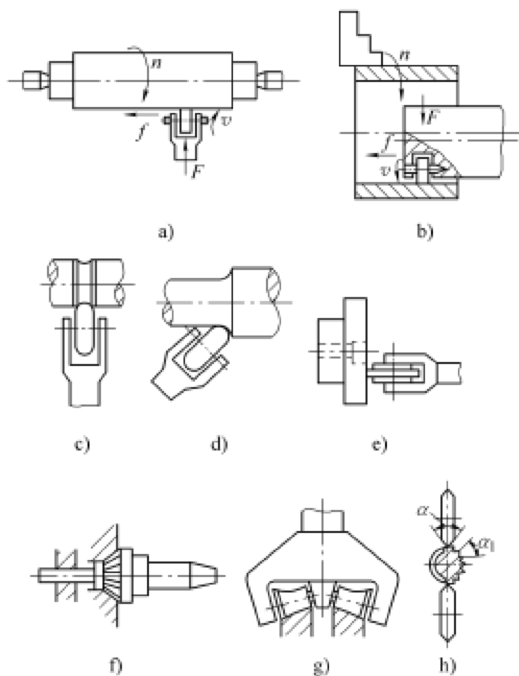


图 6-30　滚轮滚压示例

a）滚压圆柱形外表面　b）滚压圆柱形内表面
c）滚压圆柱凹槽　d）滚压过渡圆角　e）滚压端面
f）滚压锥形孔　g）滚压型面　h）滚压直槽

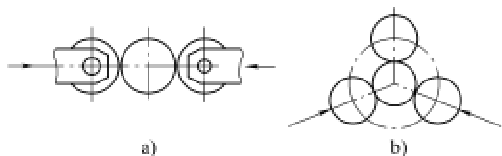


图 6-31　多滚轮滚压圆柱形外表面示意
a）双滚轮　b）三滚轮

6.7.4　滚压质量分析

滚轮滚压加工的表面质量主要取决于下列因素：

1）滚轮或滚柱制造精度越高，滚压后工件的质量越好。滚轮或滚柱的表面粗糙度一般要求在 *Ra*0.4μm 以下。此外，还应使它们与其他零件达到较高的配合精度，如滚轮与心轴的轴线间位置度应小于 0.01mm。

2）工件的原始表面粗糙度值越低，滚压后的表面质量越好。一般滚压前，工件表面的预加工建议采用精车、精镗或精铣。预加工后的工件，若用滚柱式滚压工具进行滚压，工件表面粗糙度 *Ra* 应为 0.63μm 以下；若用滚轮式滚压工具进行滚压，工件表面粗糙度 *Ra* 应为 12.5μm 以下。

3）选择滚压参数。

① 压入深度 a（即压入前后工件半径的变化值）。压入深度 a 过小，滚压后工件的表面粗糙度值大；压入深度 a 过大，容易使工件表面产生粘附、脱皮现象。压入深度由滚轮进给时的压力 F 控制。压力越大，压入深度也越

大，两者大小均取决于工件直径尺寸、工件材料和滚压前工件的表面粗糙度等因素。较合理的数值，可根据具体情况，由试验比较确定。一般 $a=0.01\sim0.02$mm 时，$F=500\sim3000$N。

② 进给量 f。进给量 f 过大，工件的表面粗糙度值大；进给量 f 过小，工件表面因重复滚压而容易产生疲劳裂纹，也会降低滚压质量。一般 $f=0.1\sim0.25$mm/r。滚压次数应以一次为宜，如用滚柱式滚压工具也可滚压两次。

③ 滚压速度 v。在保证机床、滚压工具正常使用情况下，宜采用较高的滚压速度，以提高滚压质量和生产率。不同形式滚压工具的滚压速度见表 6-9。

表 6-9　不同形式滚压工具的滚压速度

结构形式	滚压速度 v/（m/min）	
	外圆滚压	内孔滚压
硬质合金滚轮式滚压工具	80～150	
滚柱式滚压工具	<40	30～40
硬质合金 YZ 型深孔滚压工具	—	30～40
圆锥滚柱深孔滚压工具	—	60～80

4）冷却和润滑。切削液可用全损耗系统用油、煤油、乳化油等，但必须过滤，保证清洁。

5）清除杂物。滚压前要清除零件上的油脂、杂物和腐蚀痕迹等，以免影响滚压后的质量。

6.7.5 滚花

1. 花纹的种类及其尺寸（GB/T 6403.3—2008）

按标准规定，花纹有直纹和网纹两种。花纹的粗细由节距 p 来决定，滚花的标注方法及其尺寸见图6-32和表6-10。

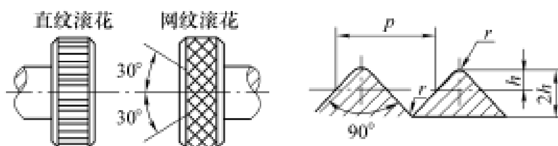


图 6-32 花纹种类及标注方法

表 6-10 滚花尺寸（单位：mm）

模数 m	h	r	节距 p
0.2	0.132	0.06	0.628
0.3	0.198	0.09	0.942
0.4	0.264	0.12	1.257
0.5	0.326	0.16	1.571

注：表中 $h=0.785m-0.414r$。

标记示例：

1）模数 $m=0.3$mm 直纹滚花：直纹 m0.3。

2）模数 $m=0.4$mm 网纹滚花：网纹 m0.4。

2. 滚花刀的种类

滚花刀一般有单轮、双轮及六轮三种（图 6-33）。单

轮滚花刀通常是滚压直纹用的。双轮滚花刀和六轮滚花刀用于滚压网纹它是，由节距相同的一个左旋和一个右旋滚花刀组成一组。六轮滚花刀是把网纹模数 m 不等的三组双轮滚花刀，装在同一特制的刀杆上。

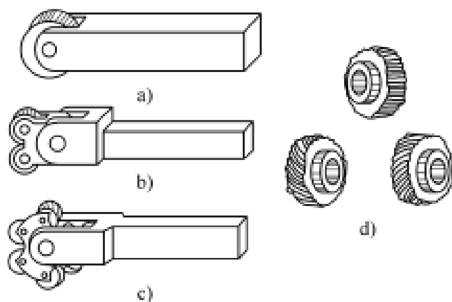


图 6-33　滚花刀的种类

a）单轮　b）双轮　c）六轮　d）滚轮

3. 滚花加工时的注意事项

1）滚花时产生的背向力较大，使工件表面产生塑性变形。所以在车削外径时，应根据工件材料的性质和滚花的节距 p 的大小，将滚花部位的外径车小（0.2～0.5）p。

2）滚花前工件表面粗糙度应为 $Ra12.5\mu m$。

3）滚花刀的装夹应与工件表面平行。在滚花刀开始接触工件时，必须用较大的压力进刀，使工件圆周上一开始就形成较深的花纹，这样就不容易产生乱纹。这样来回

滚压 1 ~2 次，直到花纹凸出为止。

为了减小开始时的径向压力，可用滚花刀宽度的 1/2 或 1/3 进行滚压，或把滚花刀尾部装得略向左偏一些，使滚花刀与工件表面有一很小夹角（类似车刀的副偏角），这样滚花刀就容易切入工件表面（图6-34）。

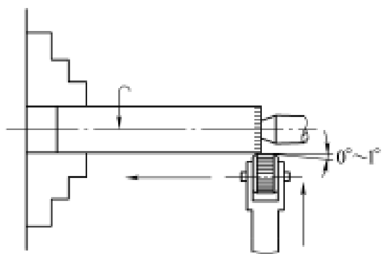


图 6-34　滚花刀的安装

4）滚花时应选择较低的切削速度。在滚压过程中，必须经常加切削液和清除切屑，以免损坏滚花刀和防止滚花刀被切屑滞塞而影响花纹的质量。

5）滚花后工件直径大于滚花前直径，其值 $\Delta \approx (0.8 \sim 1.6) m$。

6）滚花一般在精车之前进行。

6.8　车削薄壁工件

车削薄壁工件时，由于工件的刚性差，在车削过程中受切削力和夹紧力的作用极易产生变形，影响工件的尺寸精度和形状精度。因此，合理地选择装夹方法、刀具几何

角度、切削用量及充分地进行冷却润滑，都是保证加工薄壁工件精度的关键。

6.8.1 工件的装夹方法（表 6-11）

表 6-11 工件的装夹方法

装夹方法	简图	应用说明
增加工艺凸台		对薄壁套类工件，可在坯料上留有一定的夹持长度（工艺凸台），在工件一次装夹中完成内、外圆和一端面的加工后，切下工件，最后装夹在心轴上，车另一端面和倒角
开口套筒装夹		开口套筒接触面大，夹紧力均匀分布在工件外圆上，不易产生变形。这种方法还必须提高自定心卡盘的安装精度，才能达到较高的同轴度

（续）

装夹方法	简　　图	应用说明
软卡爪装夹		采用改装成扇形软卡爪的自定心卡盘，可按与加工工件的装夹基面动配合的要求加工卡爪的工作面，使接触面增大，夹紧力均匀分布在工件上，不易产生变形
轴向夹紧夹具装夹		夹具用螺母的端面来夹紧工件，夹紧力是轴向的，可避免工件变形
小锥度心轴装夹		锥度一般在1∶1000～1∶5000，制造方便、加工精度高。缺点是在长度上无法定位，承受切削力小，装卸不太方便 适用于内孔定位加工外圆

（续）

装夹方法	简　　图	应用说明
胀力心轴装夹		这种心轴是依靠材料弹性变形所产生的胀力来固定工件的，装卸方便，加工精度高，使用比较广泛 胀力心轴一般直接安装在机床主轴孔中，其旋塞锥角最好为30°左右，最薄部分壁厚为3~6mm，胀体上开有三等分槽，使胀力保持均匀 适用于内孔定位加工外圆

6.8.2　刀具几何角度的选择

车削薄壁工件时，刀具刃口要锋利，一般采用较大的前角和主偏角，刀具的修光刃不宜过长（一般取0.2~

0.3mm)，要求刀柄的刚度高。

1）外圆精车刀主要角度及参数如图 6-35 所示。

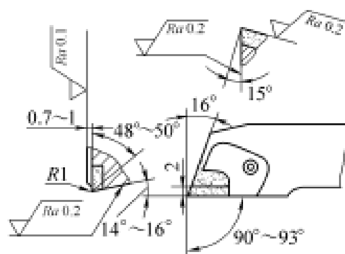


图 6-35　外圆精车刀

2）内孔精车刀主要角度及参数如图 6-36 所示。

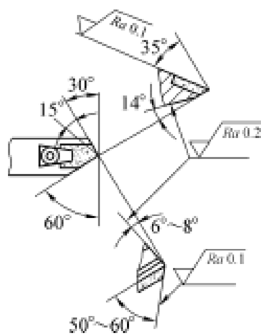


图 6-36　内孔精车刀

6.9 车削细长轴

工件的长度 L 与直径 d 之比大于 25（$L/d>25$）的轴类零件，称为细长轴。

6.9.1 细长轴的加工特点

1）工件刚性差、拉弯力弱，并有因材料自重下垂的弯曲现象。

2）在切削过程中，工件受热伸长会产生弯曲变形，甚至会使工件卡死在顶尖间而无法加工。

3）工件受切削力作用易产生弯曲，从而引起振动，影响工件的精度和表面粗糙度。

4）采用跟刀架、中心架辅助工、夹具，操作技能要求高，与之配合的机床、工、夹、刀具等多方面的协调困难，也是产生振动的原因，会影响加工精度。

5）由于工件长，每次进给的切削时间长，刀具磨损和工件尺寸变化大，难以保证加工精度。

因此，在车削细长轴时，对工件的装夹、刀具、机床、辅助工夹具及切削用量等要合理选择，精心调整。

6.9.2 细长轴的装夹

1. 钻中心孔

将棒料一端钻好中心孔，当毛坯直径小于机床主轴通孔时，按一般方法加工中心孔，但是棒料所伸出床头后面的部分，应加强安全措施；当棒料直径大于机床主轴通孔或弯曲较大时，则用卡盘夹持一端，另一端用中心架支承其外圆毛坯面，先钻好可供活顶尖顶住的不规则中心孔，然后车出一段完整的外圆柱面，再用中心架支承该圆柱面，修正原来的中心孔，达到圆度的要求。应注意，在开

始架中心架时，应使工件旋转中心与中心钻中心重合，否则将出现中心钻在工件端面上划圈，导致中心钻被折断。

中心孔是细长轴的主要定位基准。精加工时，中心孔要求更高。一般精加工前要修正中心孔，使两端中心孔同轴，角度、圆度、表面粗糙度符合要求。因此，在必要时还应将两端中心孔进行研磨。

2. 装夹方式

（1）用中心架装夹

1）中心架直接支承在工件中间（图 6-37）。这种方法适用于允许调头接刀车削，这样支承可改善细长轴的刚性。在工件装上中心架之前，必须在毛坯中间车一段安装中心架卡爪的沟槽。

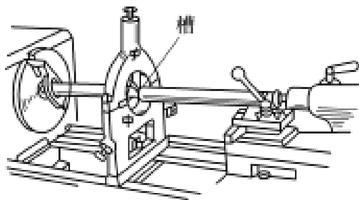


图 6-37　中心架直接支承在工件中间

车削时，卡爪与工件接触处应经常加润滑油。为了使卡爪与工件保持良好的接触，也可以在卡爪与工件之间加一层砂布或研磨剂，使接触更好。

2）用过渡套筒支承工件（图 6-38）。要在细长轴中间车削一条沟槽是比较困难的，为了解决这个问题，可采用过渡套筒装夹细长轴，使卡爪不直接与毛坯接触，而使

卡爪与过渡套筒的外表面接触。过渡套筒的两端各装有四个螺钉，用这些螺钉夹住毛坯工件，但过渡套筒的外圆必须找正。

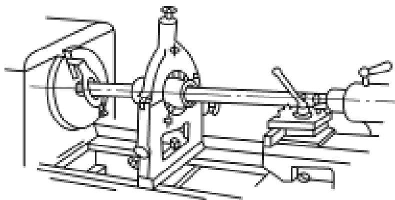


图 6-38　用过渡套筒支承工件

3）一端夹住、一端搭中心架（图 6-39）。除钻中孔外，车削长轴的端面、较长套筒的内孔、内螺纹时，都可用一端夹住、一端搭中心架的方法。这种方法使用范围广泛。

4）对中心架支承卡爪的调整。在调整中心架卡爪前，应在卡盘和顶尖之间将工件两端支承好。中心架卡爪的调整，重点是注意两侧下方的卡爪，它决定工件中心位置是否能保持在主轴轴线的延长线上。因此，支承力应均等而且适度，否则将因操作失误而顶弯工件。位于工件上方的卡爪，起抗衡进给力 F_x 的作用。按顺序，它应在下方两侧卡爪支承调整稳妥之后，再进行支承调整，并注意不能顶压过紧。调整最后，应使中心架每个卡爪都能如精密配合的滑动轴承的内壁一样，保持相同的微小间隙，做自由滑动。应随时注意中心架各个卡爪的磨损情况，及时地调

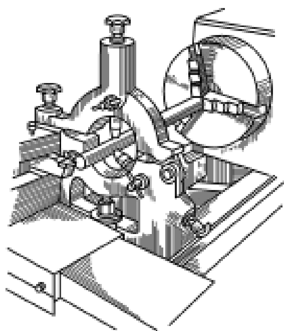


图 6-39　一端夹住、一端搭中心架

整和补偿。

中心架的三个卡爪在长期使用磨损后，可用青铜、球墨铸铁或尼龙 1010 等材料的卡爪更换。

（2）用跟刀架装夹（图 6-40）　车细长轴时最好采用三个卡爪的跟刀架（图 6-41）。它有平衡进给力 F_x、背向力 F_y 和阻止工件自重 G 的作用。各支承卡爪的触头由可以更换的耐磨铸铁制成。支承爪圆弧可预先经镗削加工而成，也可以在车削时，利用工件粗车后的粗糙表面进行磨合。在调整跟刀架各支承压力时，力度要适中，并要供给充分的切削液，才能保证跟刀架支承的稳定和工件的尺寸精度。

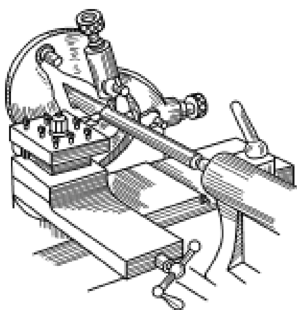


图 6-40　跟刀架装夹工件

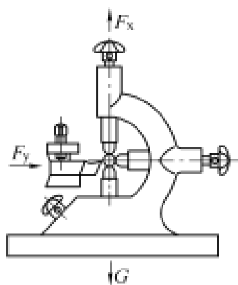


图 6-41　三爪跟刀架

3. 装夹时的注意事项

1）当材料毛坯弯曲较大时，使用单动卡盘装夹为宜。因为单动卡盘具有可调整被夹工件圆心位置的特点。当工

件毛坯加工余量充足时，利用它将弯曲过大的毛坯部分“借”正，保证外径能全部车圆，并应留有足够的半精加工余量。

2）卡爪夹持毛坯不宜过长，一般为15～20mm，并且应加垫铜皮，或用直径 $\phi1$～$\phi5$mm的钢丝在夹头上绕一圈，充当垫块（图6-42）。这样可以克服因材料尾端外圆不平，产生受力不均而迫使工件弯曲的情况产生。

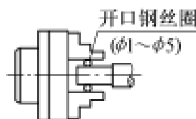


图6-42　卡盘装夹工件

3）尾座端顶尖采用弹性回转顶尖（图6-43）。在加工过程中，由于切削热而使工件变形伸长时，工件推动顶尖1使碟形弹簧3压缩变形，可有效地补偿工件的热变形伸长，工件不易弯曲，使车削顺利。

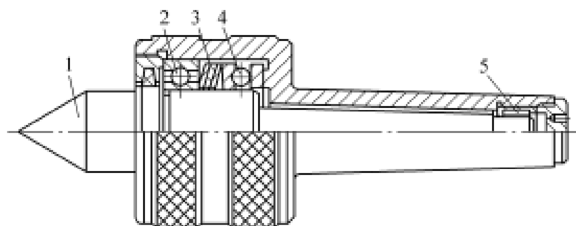


图6-43　弹性回转顶尖

1—顶尖　2—圆柱滚子轴承　3—碟形弹簧
4—推力球轴承　5—滚针轴承

调整顶尖对工件的压力大小时，一般在车床开动后，用手指能将顶尖头部捏住，使其不转动为合适。

4. 装夹方法举例（表6-12）

表6-12　车削细长轴的装夹方法举例

装夹方法	简　　图	应用范围
一夹一顶，上中心架（用过渡套），正装车刀车削		适用于允许调头接刀车削（过渡套外表面的表面粗糙度值要小，精度要高，内孔要比工件直径大20~30mm）
用两顶尖拨顶，上中心架		适用于允许调头接刀车削（工件凹槽尺寸：槽底径等于工件最后直径，槽宽比中心架支承宽度宽10mm）
一夹一顶（用弹性活顶尖），上跟刀架，正装车刀车削		适用于不允许调头接刀车削的工件

（续）

装夹方法	简　　图	应用范围
一夹一顶（用弹性活顶尖），夹持面用开口钢丝圈，上跟刀架，反向进给	开口钢丝圈 (φ4～φ5) 跟刀架 75°	因反向进给，故变形小，加工精度高。精车时，使用可调宽刃弹性车刀
一夹一拉，上跟刀架，反向进给	跟刀架 拉紧螺母 75° 尾座主轴 工艺夹头长度 工艺夹头长度	同上，适用于精车（尾座拉紧，增加了预拉应力，加工效果更为理想）
改装中滑板，设前、后刀架，用两把 45° 车刀同时切削，加工精度高	左螺旋母 45° 右螺旋母	适用于批量生产

6.9.3 车削细长轴常用的切削用量（表6-13）

表6-13 车削细长轴常用的切削用量

切削用量	粗车	精车
v/（m/min）	32	1.5
f/（mm/r）	0.3～0.35	12～14
a_p/mm	2～4	0.02～0.05

6.9.4 加工细长轴用车刀举例

1. 对车刀几何角度的综合要求

1）车刀的主偏角，取 $\kappa_r = 75° \sim 95°$，以减小背向力，减少细长轴的弯曲。

2）选择较大的前角，取 $\gamma_o = 15° \sim 30°$，以减小进给力。

3）车刀前刀面应磨有 $R1.5 \sim R3$mm 的断屑槽，使切屑卷曲折断。

4）选择正值刃倾角，取 $\lambda_s = 3° \sim 10°$，使切屑流向待加工表面。

5）减小切削刃表面粗糙度值，切削刃保持锋利。

6）不磨刀尖圆弧过渡刃和倒棱或磨得很小，保持切削刃的锋利，减小背向力。

7）粗车时，刀尖要高于中心 0.1mm 左右；精车时，刀尖应等于或略低于中心，不要超过 0.1mm。

2. 车削细长轴车刀举例（表 6-14）

表 6-14　车削细长轴车刀举例

刀具名称	刀具几何参数	主要特点
90°细长轴车刀	0.1～0.15　4～6　R2.5　Ra 0.1　Ra 0.8　Ra 0.4　−20°　28°～30°　6°　8°　Ra 0.8　0.1～0.5　Ⅰ放大　0°～1°　10°　87°～90°　6°～8°　3°　Ra 6.3（√）	这种车刀车削时，背向力小，可一次完成多台阶轴加工，不用换刀 适用于正、反粗车，半精车、精车细长轴
75°反偏刀	4～6　0.1～0.2　Ra 0.1　Ⅰ放大　Ra 0.8　R2.5　10°　Ra 0.4　0.1～0.15　28°～30°　6°　8°　Ra 1.6　0°～1°　6°　6°～8°　Ra 0.4　75°　3°	这种车刀的刃口强度高、耐磨，有利于消振抗弯。在反向进给时，进给力指向尾座，使弯曲变形减小。装刀时，刀尖应高于工件轴线 0.1～0.15mm 适用于反向粗车细长轴

（续）

刀具名称	刀具几何参数	主要特点
宽刃低速大进给车刀		这种车刀的切削刃宽度比进给量大 1/3 以上，可进行大进给精车。刃口无倒棱，容易切入工件，并使切屑呈薄片状，可修光工件表面 适用于反向精车细长轴 装刀时，刀尖应低于工件轴线 0.1～0.15mm。其切削用量可选：$v=1\sim3$m/min；$f=12\sim14$mm/r；$a_p=0.02\sim0.05$mm

（续）

刀具名称	刀具几何参数	主要特点
机械夹固式95°反偏精车刀		这种车刀前角和副偏角较大，摩擦小，消振散热好 适用于反向精车细长轴

6.10　冷绕弹簧

6.10.1　卧式车床可绕制弹簧的种类（图6-44）

6.10.2　绕制圆柱形螺旋压缩弹簧（图6-44a）

1）冷绕弹簧用心轴直径的经验公式：

$$D_0=\left[\left(1-0.0167\times\frac{d+D_1}{d}\right)\pm0.02\right]\times D_1$$

式中　D_0——心轴直径（mm）；

D_1——弹簧内径（mm）；

d——钢丝直径（mm）；

±0.02——心轴系数。

如果用中级弹簧钢丝，钢丝直径 $d<1$mm 时，心轴系

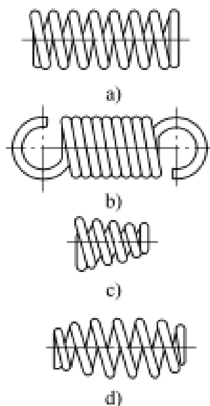


图 6-44　弹簧的种类

a）压缩弹簧　b）拉伸弹簧

c）圆锥形弹簧　d）橄榄形弹簧

数取 −0.02；$d>2.5$mm 时，心轴系数取 +0.02。

当用高级弹簧钢丝，钢丝直径 $d<2$mm 时，心轴系数取 −0.02；$d>3.5$mm 时，心轴系数取 +0.02。钢丝直径在上述范围外，此项系数可不考虑。

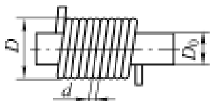
2）冷绕弹簧用心轴直径的近似公式：

$$D_0=(0.75\sim0.8)D_1$$

如果弹簧以内径与其他零件相配，近似公式中的系数应选用较大值；如果弹簧以外径与其他零件相配，近似公式中的系数应选用较小值。弹簧心轴直径也可由表 6-15

查得。

表 6-15　弹簧心轴直径（单位：mm）



d	0. 3	0. 5	0. 8	1. 0	2. 0	2. 5	3. 0	4. 0	5. 0	6. 0	心轴公差
D	心轴直径 D_0										
3	2. 1										±0. 1
4	3. 1	2. 5									
5	4. 0	3. 5	2. 7	2. 0							
6	5. 0	4. 5	3. 6	2. 9							
8		6. 4	5. 5	4. 8							
10		8. 4	7. 4	6. 7							
12			9. 3	8. 5	6. 1	4. 8					
14			11. 1	10. 4	8. 0	6. 6	5. 2				
18				14. 3	11. 9	10. 4	9. 0				±0. 2
20				16. 2	13. 8	12. 2	10. 8				
22					16. 6	14. 1	12. 7	10. 5			
32					25. 5	24. 0	22. 5	20. 2	17. 2	16. 1	
40							30. 3	28. 1	26. 1	24. 0	
50								37. 9	35. 8	33. 5	
60								47. 2	45. 0	42. 5	

注：1. 在车床上热盘弹簧，心轴直径应等于弹簧内径。

2. 冷绕弹簧用的心轴直径，按小于弹簧内径选定，其差值由经验决定。2 级和 3 级精度钢弹簧，可按本表的数据选用。

3. 表中，*D* 为弹簧外径；*d* 为钢丝直径。

计算和查得的心轴直径是近似的。正式绕制弹簧前，最好先进行试验，即先绕 2 ~ 3 圈，让其扩大，然后测量

内径是否符合要求，再根据测量结果修正心轴直径。如果心轴直径偏差不大，也可以利用调整对钢丝牵引力的方法，使弹簧的直径稍微增大或减小。

3）根据弹簧节距，调整交换齿轮及进给箱各手柄位置。

4）用刀架夹住两块硬木块，并将钢丝夹在两硬木块之间。把钢丝插入心轴外端的小孔中（图 6-45），使钢丝头部露出心轴外端小孔 15～20mm 后，锁紧刀架螺钉。将小刀架调整好一定距离后，即可开动车床，盘绕弹簧。

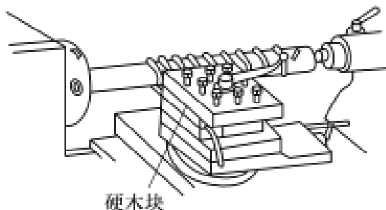


图 6-45　绕制圆柱形螺旋压缩弹簧

6.10.3　绕制圆柱形螺旋拉伸弹簧（图 6-44b）

1）心轴直径的计算与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。

2）拉伸弹簧的节距等于钢丝直径，所以应按所给定的钢丝直径，调整交换齿轮和进给箱各手柄位置。

3）绕制方法与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。

6.10.4　绕制圆锥形螺旋压缩弹簧（图 6-46）

1）心轴直径的计算与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。

但应按弹簧大、小端内径，分别计算出心轴的直径。根据计算确定的心轴大、小端直径和弹簧长度，制作锥度心轴。为保证弹簧节距的均匀，可将心轴制成带有圆弧槽。心轴的大、小端直径，应是圆弧槽大、小端底径尺寸。

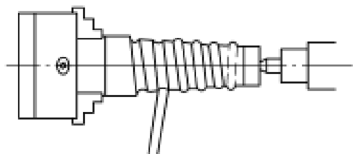


图 6-46　绕制圆锥形螺旋压缩弹簧

2）根据弹簧节距，调整交换齿轮及进给箱各手柄位置。

3）绕制方法与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。其锥度心轴的大、小端直径，也应先进行试绕后再确定。

6.10.5　绕制橄榄形弹簧（图 6-47）

1）心轴应制成可拆卸的，这样绕制后的橄榄形弹簧才能正常取下。心轴由轴 1、垫圈 2 和挡圈 3 组成。轴 1 外圆与垫圈 2 的内孔，通过相应的键槽和键相配。依据弹簧节距确定垫圈厚度；依据弹簧圈数确定垫圈数目；依据弹簧的最大和最小内径，计算出垫圈最大和最小外径。

2）根据弹簧节距，调整交换齿轮和进给箱各手柄位置。

3）按图 6-47 所示装好心轴、垫圈和挡圈，即可绕制弹簧。

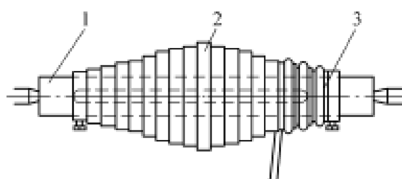


图 6-47　绕制橄榄形弹簧

1—心轴　2—垫圈　3—挡圈

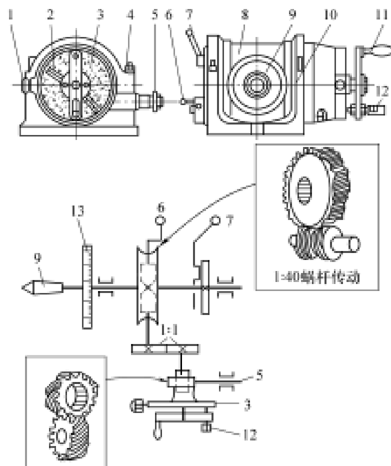
第 7 章　铣 工 技 术

7.1　常用分度头分度方法及计算

7.1.1　分度头传动系统及分度头定数

1. 分度头传动系统及主要规格（表 7-1）。

表 7-1　分度头传动系统及主要规格



1—分度盘紧固螺钉　2—分度叉　3—分度盘
4—螺母　5—交换齿轮轴　6—蜗杆脱落手柄
7—主轴锁紧手柄　8—回转体　9—主轴
10—基座　11—分度手柄　12—分度定位销　13—刻度盘

（续）

规格名称 \ 型号	F1180（FW80）	F11100（FW100）	F11125（FW125）	F11160（FW160）
中心高/mm	80	100	125	160
主轴锥孔号（莫氏）	3	3	4	4
主轴倾斜角（水平方向）/（°）	−6～+90	−6～+90	−6～+90	−6～+90
蜗杆副速比	1∶40	1∶40	1∶40	1∶40
定位键宽度/mm	12	14	18	18
主轴法兰盘定位短锥直径/mm	36.512	41.275	53.975	53.975

注：表中括号内型号为旧标准。

2. 分度头定数、分度盘孔数和交换齿轮齿数（表7-2）。

表7-2 分度头定数、分度盘孔数和交换齿轮齿数

分度头形式	定数	分度盘的孔数	交换齿轮齿数
带一块分度盘	40	正面：24、25、28、30、34、37、38、39、41、42、43 反面：46、47、49、51、53、54、57、58、59、62、66	25、25、30、35、40、50、55、60、70、80、90、100
带两块分度盘	40	第一块 正面：24、25、28、30、34、37 反面：38、39、41、42、43 第二块 正面：46、47、49、51、53、54 反面：57、58、59、62、66	

7.1.2　分度方法及计算

1. 单式分度法计算及分度表（表7-3）

表7-3　单式分度法计算及分度表

$$n（手柄的转数）=\frac{40（分度头定数）}{z（工件等分数）}$$

单式分度表（分度头定数40）

工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数
2	任意	20	—	15	24	2	16
3	24	13	8	16	24	2	12
4	任意	10	—	17	34	2	12
5	任意	8	—	18	54	2	12
6	24	6	16	19	38	2	4
7	28	5	20	20	任意	2	—
8	任意	5	—	21	42	1	38
9	54	4	24	22	66	1	54
10	任意	4	—	23	46	1	34
11	66	3	42	24	24	1	16
12	24	3	8	25	25	1	15
13	39	3	3	26	39	1	21
14	28	2	24	27	54	1	26

（续）

工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数
28	42	1	18	45	54	—	48
29	58	1	22	46	46	—	40
30	24	1	8	47	47	—	40
31	62	1	18	48	24	—	20
32	28	1	7	49	49	—	40
33	66	1	14	50	25	—	20
34	34	1	6	51	51	—	40
35	28	1	4	52	39	—	30
36	54	1	6	53	53	—	40
37	37	1	3	54	54	—	40
38	38	1	2	55	66	—	48
39	39	1	1	56	28	—	20
40	任意	1	—	57	57	—	40
41	41	—	40	58	58	—	40
42	42	—	40	59	59	—	40
43	43	—	40	60	42	—	28
44	66	—	60				

例 1　铣一直齿圆柱齿轮，齿数 $z=12$，求每次分度头手柄的转数。

解　用公式计算：

$$n=\frac{40}{z}=\frac{40}{12}=3\,\frac{4}{12}=3\,\frac{8}{24}$$

即铣完一齿后，分度头手柄摇 3 转，再在 24 的孔圈上转过 8 个孔距。

查单式分度表：工件等分数 12，分度盘孔数 24，手柄回转数 3，转过的孔距数 8，和用公式计算的结果相同。

2. 角度分度法计算及分度表（表 7-4）

表 7-4　角度分度法计算及分度表

工件角度以“度”为单位时：

$$n=\frac{\theta}{9^\circ}$$

工件角度以“分”为单位时：

$$n=\frac{\theta}{9\times60'}=\frac{\theta}{540'}$$

工件角度以“秒”为单位时：

$$n=\frac{\theta}{9\times60\times60''}=\frac{\theta}{32400''}$$

式中　n——分度头手柄转数；

　　　θ——工件等分的角度

分度头主轴转角			分度盘孔数	转过的孔距数	折合手柄转数
(°)	(′)	(″)			
0	10	0	54	1	0.0185
0	20	0	54	2	0.0370
0	30	0	54	3	0.0556

（续）

分度头主轴转角			分度盘孔数	转过的孔距数	折合手柄转数
(°)	(′)	(″)			
0	40	0	54	4	0. 0741
0	50	0	54	5	0. 0926
1	0	0	54	6	0. 1111
1	10	0	54	7	0. 1296
1	20	0	54	8	0. 1481
1	30	0	30	5	0. 1667
1	40	0	54	10	0. 1852
1	50	0	54	11	0. 2037
2	0	0	54	12	0. 2222
2	10	0	54	13	0. 2407
2	20	0	54	14	0. 2593
2	30	0	54	15	0. 2778
2	40	0	54	16	0. 2963
2	50	0	54	17	0. 3148
3	0	0	30	10	0. 3333
3	10	0	54	19	0. 3519
3	20	0	54	20	0. 3704
3	30	0	54	21	0. 3889
3	40	0	54	22	0. 4074
3	50	0	54	23	0. 4259
4	0	0	54	24	0. 4444
4	10	0	54	25	0. 4630
4	20	0	54	26	0. 4814

（续）

分度头主轴转角			分度盘孔数	转过的孔距数	折合手柄转数
(°)	(′)	(″)			
4	30	0	66	33	0. 5000
4	40	0	54	28	0. 5200
4	50	0	54	29	0. 5370
5	0	0	54	30	0. 5556
5	10	0	54	31	0. 5741
5	20	0	54	32	0. 5926
5	30	0	54	33	0. 6111
5	40	0	54	34	0. 6296
5	50	0	54	35	0. 6481
6	0	0	30	20	0. 6667
6	10	0	54	37	0. 6852
6	20	0	54	38	0. 7037
6	30	0	54	39	0. 7222
6	40	0	54	40	0. 7407
6	50	0	54	41	0. 7593
7	0	0	54	42	0. 7778
7	10	0	54	43	0. 7963
7	20	0	54	44	0. 8148
7	30	0	30	25	0. 8333
7	40	0	54	46	0. 8519
7	50	0	54	47	0. 8704
8	0	0	54	48	0. 8889
8	10	0	54	49	0. 9074

（续）

分度头主轴转角			分度盘孔数	转过的孔距数	折合手柄转数
（°）	（′）	（″）			
8	20	0	54	50	0.9259
8	30	0	54	51	0.9444
8	40	0	54	52	0.9630
8	50	0	54	53	0.9815
9	0	0			1.0000

例 2　在一轴上铣两个键槽，其夹角为 77°，应如何分度？

解　把 77°代入以“度”为单位的公式中：

$$n=\frac{77^\circ}{9^\circ}=8\ \frac{5}{9}=8\ \frac{30}{54}$$

即分度头手柄转 8 圈后再在 54 孔圈上转过 30 个孔距。

例 3　若一轴上两槽间的夹角为 7°21′30″，应如何分度？

解　首先把 7°21′30″化成“秒”。

$$7^\circ 21'30''=26490''$$

把 26490″代入以“秒”为单位的公式中，得

$$n=\frac{\theta}{32400''}=\frac{26490''}{32400''}=0.8176\approx\frac{54}{66}$$

3. 直线移距分度法

直线移距分度法就是把分度头主轴或侧轴和纵向工作台丝杠用交换齿轮连接起来，移距时只要转动分度手柄，

通过齿轮传动，使工作台做精确的移距。这种方法适用于加工精度较高的齿条和直尺刻线等的等分移距分度。

常用的直线移距法有两种：

（1）主轴交换齿轮法　这种方法是先在分度头主轴后锥孔插入安装交换齿轮心轴，然后在主轴与纵向丝杠之间装上交换齿轮（图 7-1），当转动分度手柄时，运动便会通过交换齿轮传至纵向丝杠，使工作台产生移距。

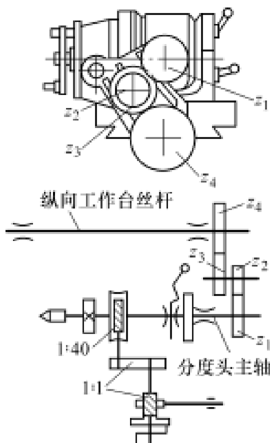


图 7-1　主轴交换齿轮法

交换齿轮计算公式为

$$\frac{40S}{np}=\frac{z_1z_3}{z_2z_4}$$

式中　40——分度头定数；

S——工件每格距离；

n——每次移距分度头手柄转数；

p——铣床纵向工作台丝杠螺距。

由于传动经过 1∶40 的蜗杆、蜗轮传动减速，所以适于刻线间隔较小的移距分度。

式中的 n 虽然可以任意选取，但为了保证计算交换齿轮的传动比合理，n 尽可能不要选得太大，n 应取在 1 ~ 10 之间。

（2）侧轴交换齿轮法　这种方法是在分度头侧轴和工作台纵向传动丝杠之间装上交换齿轮（图 7-2）。由于传动不经过 1∶40 的蜗杆、蜗轮传动，所以适用于刻线间隔较大的移距。

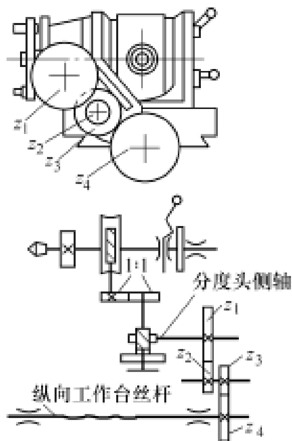


图 7-2　侧轴交换齿轮法

交换齿轮的计算公式为

$$\frac{S}{np}=\frac{z_1z_3}{z_2z_4}$$

由于分度头传动结构的原因，采用侧轴交换齿轮法，在分度时不能将分度手柄的定位销拔出，应该松开分度盘的紧固螺钉连同分度盘一起转动。为了正确地控制分度手柄的转数，可将分度盘的紧固螺钉，改装为侧面定位销（图 7-3），并在分度盘外圆上钻一个定位孔，在分度时，左手拔出侧面定位销，右手将分度手柄连同分度盘一起转动，当摇到预定转数时，靠弹簧的作用，侧面定位销就自动弹入定位孔内。

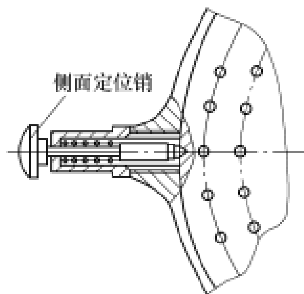


图 7-3　紧固螺孔改装上定位销

7.2　铣削离合器

离合器的种类有齿式离合器和摩擦离合器等，前者靠端面齿相互嵌入对方的齿槽传动，后者靠摩擦传动。

7.2.1　齿式离合器的种类及特点（表7-5）

表7-5　齿式离合器的种类及特点

名称	基本齿形	特　　点
矩形齿离合器	外圆展开齿形	齿侧平面通过工件轴线
尖齿离合器	外圆展开齿形	整个齿形向轴线上一点收缩
锯形齿离合器	外圆展开齿型	直齿面通过工件轴线，斜齿面向轴线上一点收缩

（续）

名称	基本齿形	特　　点
梯形收缩齿离合器	外圆展开齿形	齿顶及槽底在齿长方向都等宽，而且中心线通过离合器轴线

7.2.2　矩形齿离合器的铣削

1. 奇数齿离合器铣削（图7-4）

1）计算铣刀最大宽度 B：

$$B = \frac{d}{2}\sin\frac{180°}{z}$$

式中　d——离合器孔径（mm）；

z——离合器齿数。

2）将铣刀一侧对准工件中心（图7-4a），铣削时，铣刀应铣过槽1和3的一侧，分度后再铣槽2和4的一侧（每次进给同时铣出两个齿的不同侧面），这样依次铣削即可。

3）加工离合器齿侧间隙的方法。

① 将离合器的各齿侧面都铣得偏过中心一个距离（图7-4b）。这可在对刀时调整铣刀侧刃，使其超过中心 $e=0.1$

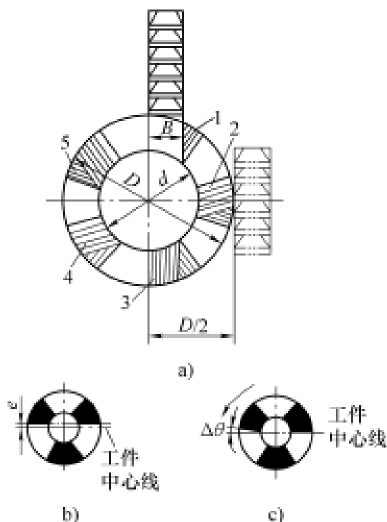


图 7-4　奇数齿离合器的铣削

~0.5mm 来达到。这种方法不增加铣削次数，但由于齿侧面不通过中心，离合器接合时，齿侧面只有外圆处接触，影响承载能力，所以这种方法只适用于要求不高的离合器。

② 将齿槽角铣得略大于齿面角（图 7-4c）。这种方法是在离合器铣削之后，再使离合器转过一个角度$\Delta\theta = 1° \sim 2°$，再铣一次。把所有齿的同一侧铣切去一些来达到。此法也适用于齿槽角大于齿面角的宽齿槽离合器，此时$\Delta\theta =$（齿槽角 − 齿面角）/2。用这种方法铣削离合器，其齿侧面仍是通过轴心的径向平面，齿侧面贴合较好，

所以一般用于要求较高的离合器加工。

2. 偶数齿离合器铣削（图7-5）

1）矩形偶数齿离合器的对刀方法和铣刀宽度的选择与奇数齿相同。

2）偶数齿离合器铣削时，每次只能铣削一个槽的一侧，而不能通过整个端面，并且还要防止切伤对面的齿。因此用盘形铣刀铣削偶数齿离合器时，要注意盘形铣刀直径的选择。

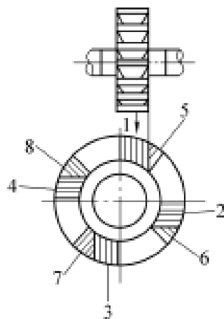


图7-5　偶数齿离合器的铣削

3）当各齿的同一侧铣完后，将工件转过一个齿槽角$\left(\text{即分度头手柄转过}\frac{20}{z}\right)$，使齿的另一侧与铣刀侧刃平行，再将工作台横向移动一个铣刀宽度距离。使齿的另一侧对准铣刀的另一侧，这样依次进行铣削即可。

4）为确保偶数齿离合器的齿侧留有一定间隙，一般齿槽角比齿面角铣大2°～4°。

7.2.3　尖齿（正三角形）离合器的铣削（图7-6）

1）选用对称双角铣刀，其廓形角θ与离合器齿形角ε相等。

2）对刀时，应使双角铣刀刀尖通过工件轴心。

3）计算分度头的倾斜角φ：

$$\cos\varphi = \tan\frac{90°}{z}\cot\frac{\theta}{2}$$

式中　θ——双角铣刀廓形角；

z——离合器齿数。

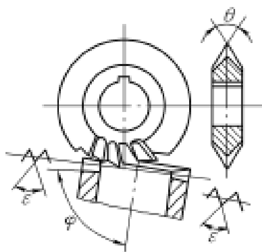


图 7-6　尖齿离合器的铣削

4）铣削尖齿离合器时，不论其齿数是奇数还是偶数，每分度一次只能铣出一条齿槽。为保证离合器接合良好，一对离合器应使用同一把铣刀加工。调整背吃刀量，应按大端齿深在外径处进行。为防止齿形太尖，往往采用试切法调整背吃刀量，使齿顶宽度留有 0.2 ~0.3mm 的平面，以保证齿形工作面接触。

5）常用齿数分度头的倾斜角 φ 可查表7-6。

表 7-6　铣尖齿与梯形收缩齿离合器时分度头的倾斜角 φ

离合器齿数 z	双角铣刀角度 θ 60°	双角铣刀角度 θ 90°	离合器齿数 z	双角铣刀角度 θ 60°	双角铣刀角度 θ 90°
	分度头的倾斜角 φ			分度头的倾斜角 φ	
8	69°51′	78°30′	18	81°17′	84°59′
9	72°13′	79°51′	19	81°45′	85°15′
10	74°05′	80°53′	20	82°10′	85°29′
11	75°35′	81°53′	21	82°34′	85°42′
12	76°50′	82°26′	22	82°53′	85°54′
13	77°52′	83°02′	23	83°12′	86°05′
14	78°45′	83°32′	24	83°29′	86°15′
15	79°31′	83°58′	25	83°45′	86°24′
16	80°11′	84°21′	26	84°01′	86°32′
17	80°46′	84°41′	27	84°13′	86°39′

（续）

离合器齿数 z	双角铣刀角度 θ		离合器齿数 z	双角铣刀角度 θ	
	60°	90°		60°	90°
	分度头的倾斜角 φ			分度头的倾斜角 φ	
28	84°25′	86°46′	45	86°32′	88°00′
29	84°37′	86°53′	46	86°37′	88°03′
30	84°47′	86°59	47	86°41′	88°05′
31	84°57′	87°05′	48	86°45′	88°08′
32	85°06′	87°11′	49°	86°49′	88°10′
33	85°16′	87°16′	50	86°53′	88°12′
34	85°25′	87°21′	51	86°56′	88°14′
35	85°32′	87°26′	52	87°00′	88°16′
36	85°40′	87°30′	53	87°03′	88°18′
37	85°47′	87°34′	54	87°07′	88°20′
38	85°54′	87°38′	55	87°10′	88°22′
39	86°00′	87°42′	56	87°14′	88°24′
40	86°06′	87°45′	57	87°16′	88°25′
41	86°12′	87°48′	58	87°19′	88°27′
42	86°17′	87°51′	59	87°24′	88°30′
43	86°22′	87°54′	60	87°24′	88°30′
44	86°27′	87°57′			

7.2.4 梯形收缩齿离合器的铣削（图7-7）

1）选用专用铣刀。铣刀的廓形角 θ 等于离合器的齿形角 ε，齿顶宽 B 应等于离合器的槽底宽度，铣刀廓形的有效工作高度必须大于离合器外圆处的齿深。

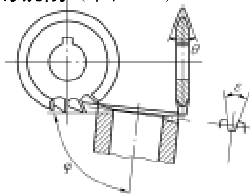


图7-7 梯形收缩齿离合器的铣削

2）对刀方法与尖齿离

合器铣削相同。

3）分度头的倾斜 φ 计算与尖齿离合器铣削相同。

4）常用齿数分度头的倾斜角 φ 可查表 7-6。

7.2.5　锯齿形离合器的铣削（图 7-8）

1）选用单角度铣刀，其廓形角 θ 与离合器齿形角 ε 相等。

2）对刀时，应使单角度铣刀的端面侧刃通过工件轴心。

3）计算分度头的倾斜角 φ：

$$\cos\varphi = \tan\frac{180°}{z}\cot\theta$$

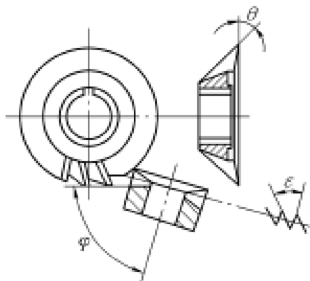


图 7-8　锯齿形离合器的铣削

式中　θ——单角铣刀廓形角；

z——离合器齿数。

4）铣削方法与铣尖齿离合器基本相同。

5）常用齿数分度头的倾斜角 φ 可查表 7-7。

表 7-7　铣锯齿形离合器时分度头的倾斜角 φ

离合器齿数 z	单角铣刀角度 θ（即离合器齿形角）					
	60°	65°	70°	75°	80°	85°
	分度头的倾斜角 φ					
5	65°12′	70°12′	74°40′	78°47′	82°12′	86°21′
6	70°32′	75°23′	77°52′	81°06′	84°09′	87°06′
7	73°50′	77°02′	79°54′	82°35′	85°10′	87°35′
8	76°10′	78°52′	81°20′	83°38′	85°48′	87°55′

（续）

离合器齿数 z	单角铣刀角度 θ（即离合器齿形角）					
	60°	65°	70°	75°	80°	85°
	分度头的倾斜角 φ					
9	77°52′	80°14′	82°23′	84°24′	86°19′	88°11′
10	79°12′	81°17′	83°13′	85°00′	86°43′	88°22′
11	80°14′	82°08′	83°54′	85°29′	87°04′	88°32′
12	81°06′	82°49′	84°24′	85°53′	87°18′	88°39′
13	81°49′	83°24′	84°51′	86°13′	87°30′	88°46′
14	82°26′	84°54′	85°12′	86°30′	87°42′	88°51′
15	82°57′	84°19′	85°34′	86°44′	87°51′	88°56′
16	83°24′	84°41′	85°51′	86°57′	87°59′	89°00′
17	83°48′	85°00′	86°06′	87°08′	88°07′	89°04′
18	84°09′	85°17′	86°19′	87°17′	88°13′	89°07′
19	84°30′	85°32′	86°31′	87°26′	88°19′	89°10′
20	84°46′	85°46′	86°42′	87°34′	88°24′	89°12′
21	85°01′	85°58′	86°51′	87°41′	88°29′	89°15′
22	85°13′	86°09′	87°00′	87°48′	88°93′	89°17′
23	85°27′	86°20′	87°08′	87°53′	88°37′	89°19′
24	85°38′	86°29′	87°15′	87°59′	88°40′	89°20′
25	85°49′	86°37′	87°22′	88°04′	88°43′	89°22′
26	85°59′	86°45′	87°28′	88°08′	88°46′	89°24′
27	86°08′	86°53′	87°34′	88°12′	88°50′	89°25′
28	86°16′	86°59′	87°39′	88°16′	88°52′	89°26′
29	86°24′	87°06′	87°44′	88°20′	88°54′	89°27′
30	86°31′	87°11′	87°48′	88°23′	88°56′	89°28′
31	86°39′	87°18′	87°53′	88°25′	88°59′	89°29′

7.3　铣削凸轮

凸轮的种类比较多，常用的有圆盘凸轮（图 7-9）、圆柱凸轮（图 7-10）。

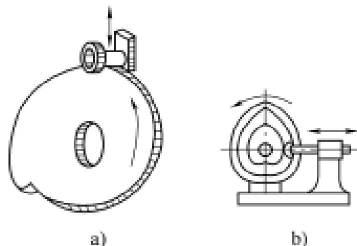


图 7-9　圆盘凸轮

通常在铣床上铣削加工的是等速凸轮，等速凸轮就是当凸轮周边上某一点转过相等的角度时，便在半径方向上（或轴线方向上）移动相等的距离。等速凸轮的工作型面一般都采用阿基米德螺旋面。

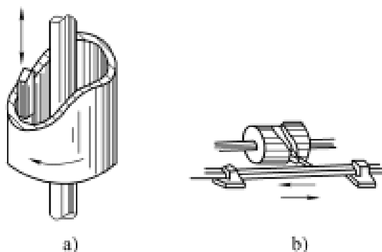
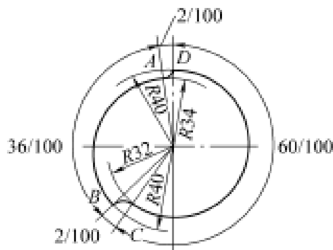


图 7-10　圆柱凸轮

7.3.1 凸轮传动的三要素（表 7-8）

表 7-8 凸轮传动的三要素



名称	定　　义	计算公式
升高量 H	凸轮工作曲线最高点半径和最低点半径之差	工作曲线 AB 的升高量： $H=(40-34)\text{mm}=6\text{mm}$ 工作曲线 CD 的升高量： $H=(40-32)\text{mm}=8\text{mm}$
升高率 h	凸轮工作曲线旋转一个单位角度或者转过等分圆周的一等分时，从动件上升或下降的距离	凸轮圆周按 360°角等分时，升高率 h 应为 $h=\dfrac{H}{\theta}$ 式中　θ——工作曲线在圆周上所占的度数。 凸轮圆周按 100 格等分时，升高率 h 应为 $h=\dfrac{H}{A}$ 式中　A——工作曲线在圆周上所占的百分格数

（续）

名称	定　　义	计算公式
导程 P_h	工作曲线按一定的升高率，旋转一周时的升高量	凸轮圆周按 360°角等分时，导程 P_h 应为 $P_h=360°h=360°\times\frac{H}{\theta}=\frac{360°H}{\theta}$ 凸轮圆周按 100 格等分时，导程 P_h 应为 $P_h=100h=100\times\frac{H}{A}=\frac{100H}{A}$

7.3.2　等速圆盘凸轮的铣削

1. 垂直铣削法（图 7-11）

1）这种方法用于仅有一条工作曲线，或者虽然有几条工作曲线，但它们的导程都相等，并且所铣凸轮外径较大，铣刀能靠近轮坯而顺利切削（图 7-11a）。

2）立铣刀直径应与凸轮推杆上的小滚轮直径相同。

3）分度头交换齿轮轴与工作台丝杠的交换齿轮传动比 i 计算：

$$i=\frac{40P_{丝}}{P_h}$$

式中　40——分度头定数；

$P_{丝}$——工作台丝杠螺距（mm）；

P_h——凸轮导程（mm）。

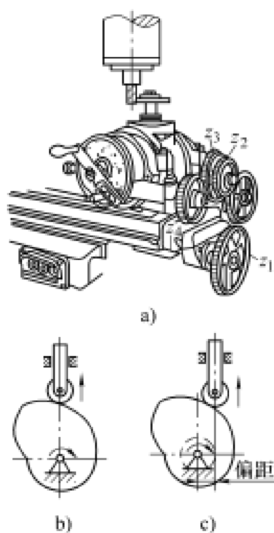


图 7-11　垂直铣削等速圆盘凸轮

4）圆盘凸轮铣削时的对刀位置必须根据从动件的位置来确定。

若从动件是对心直动式的圆盘凸轮（图7-11b），对刀时应将铣刀和工件的中心连线调整到与纵向进给方向一致。

若从动件是偏置直动式的圆盘凸轮（图7-11c），则应调整工作台，使铣刀对中后再偏移一个距离。这个距离必须等于从动件的偏距 e，并且偏移的方向也必须和从动件的

偏置方向一致。

2. 扳角度铣削法（图 7-12）

1）这种方法用于有几条工作曲线，各条曲线的导程不相等，或者凸轮导程是大质数、零星小数，选配齿轮困难等。

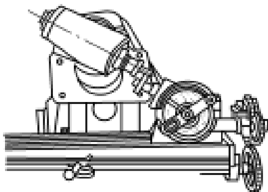


图 7-12　扳角度铣削等速圆盘凸轮

2）计算分度头的倾斜角度。

① 计算凸轮的导程 P_h。选择 P_h'（P_h'可以由自己决定，但 P_h'应大于 P_h 并能分解因子）。

② 计算分度头的倾斜角度 α：

$$\sin\alpha = \frac{P_h}{P_h'}$$

3）计算传动比 i（按选择的 P_h'计算）：

$$i = \frac{40P_{丝}}{P'_h}$$

4）计算立铣头的转动角度 β：

$$\beta = 90° - \alpha$$

5）计算铣刀长度 l：

$$l = a + H\cot\alpha + 10\text{mm}$$

式中　a——凸轮厚度（mm）；

10——多留出的切削刃长度（mm）。

6）铣削加工工艺程序与垂直铣削法相似。

7.3.3 等速圆柱凸轮的铣削

等速圆柱凸轮分螺旋槽凸轮和端面凸轮(图7-10)，其中螺旋槽凸轮铣削方法和铣削螺旋槽基本相同。所不同的是，圆柱螺旋槽凸轮工作型面往往是由多个不同导程的螺旋面(螺旋槽)所组成的，它们各自所占的中心角是不同的，而且不同的螺旋面(螺旋槽)之间还常用圆弧进行连接，因此导程的计算就比较麻烦。在实际生产中应根据图样给定的不同条件，采用不同的方法来计算凸轮曲线的导程。

计算等速圆柱螺旋槽凸轮导程，若加工图样上给定螺旋角 β 时，导程计算公式为：

$$P_{\mathrm{h}} = \pi d \cot\beta$$

式中 d——工件外径（mm）；

β——工件螺旋角（°）。

等速圆柱（端面）凸轮的铣削如图7-13所示。

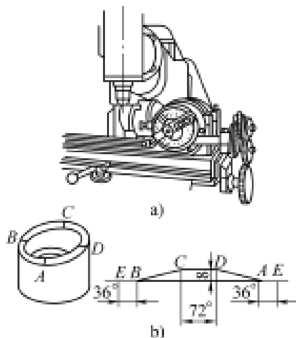


图7-13 等速圆柱（端面）凸轮的铣削

1）铣削等速圆柱凸轮的原理与铣削等速圆盘凸轮相

同，只是分度头主轴应平行于工作台(图 7-13a)。

2）铣削时的调整计算方法与用垂直铣削法铣削等速圆盘凸轮相同。

3）圆柱凸轮曲线的上升和下降部分需分两次铣削（图 7-13b）。图 7-13b 中，*AD* 段是右旋，*BC* 段是左旋。铣削中以增减中间轮来改变分度头主轴的旋转方向，即可完成左、右工作曲线的加工。在增减中间轮时，应仔细操作，不能变动原来位置，否则会造成凸轮转角误差。

铣等速圆柱（端面）凸轮时，螺旋面为右旋方向时，应使用左旋立铣刀；螺旋面为左旋方向时，应使用右旋铣刀。

7.4　铣削球面

采用铣削法加工圆球，可以在铣床上进行也可以在车床上进行，其原理是一样的，即：一个旋转的刀具沿着一个旋转的物体运动，两轴线相交但又不重合，那么刀尖在物体上形成的轨迹则为一球面。

铣削时，工件中心线与刀盘中心线要在同一平面上。工件装夹在分度头三爪上（图 7-14），由电动机减速后带动或用机床纵向丝杠（拿掉丝杠螺母）通过交换齿轮带动旋转。

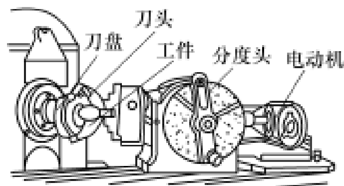


图 7-14　球面铣削装夹及传动机构

球面铣削的调整与计算见表 7-9。

表 7-9　球面铣削的调整与计算

加工形式	图　　示	调整与计算
加工整球	a) 第一次铣削 b) 第二次铣削	整圆球铣削一般要分两次加工（见图） 对刀直径 D_e 应控制在 $L > D_e > \sqrt{2}R$ 的范围内： $L = \sqrt{D^2 - d^2} = 2\sqrt{R^2 - r^2}$ 式中　L——两支承套间距离（mm）； D、R——工件的直径和半径（mm）； d、r——支承套的直径和半径（mm）
加工带柄圆球		带柄圆球的铣削，应将分度头倾斜一角度 α 1）求分度头的倾斜角 α： $\tan\alpha = \dfrac{BC}{AC} = \dfrac{\frac{d}{2}}{L_1} = \dfrac{d}{2L_1}$ $L_1 = \dfrac{D + \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$ 2）求对刀直径 D_e： $D_e = \sqrt{\left(\dfrac{d}{2}\right)^2 + L_1^2}$ 或　$\dfrac{D_e}{2} = OA\cos\alpha = R\cos\alpha$ 所以　$D_e = 2R\cos\alpha = D\cos\alpha$

（续）

加工形式	图　　示	调整与计算
加工内球面		内球面铣削时应将分度头倾斜一角度 α 1）求分度头的倾斜角 α： $\angle AOB=2\alpha$ $\sin 2\alpha=\frac{AB}{AO}=\frac{\frac{d}{2}}{R}=\frac{d}{2R}=\frac{d}{D}$ 2）求对刀半径 $\frac{D_e}{2}$： $\frac{D_e}{2}=R\sin\alpha$

7.5　铣削花键轴

7.5.1　花键的定心方式及加工精度

1. 花键的定心方式

花键轴的种类较多，按齿廓的形状可分为矩形齿、梯形齿、渐开线齿和三角形齿等。

花键的定心方式有三种(表 7-10)，但一般情况下，均按大径定心。矩形齿花键轴由于加工方便，强度较高，而且易于对正，所以应用较广。

表 7-10　花键的定心方式

定心方式	图　　示	特点及用途
小径定心	轮毂 轴	小径定心是矩形花键连接最精密的方法，定心精度高。多用于机床行业
大径定心	轮毂 轴	大径定心的矩形花键连接加工方便，定心精度较高。可用于汽车、拖拉机和机床等行业
齿形定心	p s	齿形定心方式用于渐开线花键。在受载情况下能自动定心，可使多数齿同时接触。有平齿根和圆齿根两种，圆齿根有利于降低齿根的应力集中。适用于载荷较大的汽车、拖拉机变速器轴等

2. 花键加工的精度（表 7-11）

表 7-11　花键加工的精度

（1）花键轴

花键轴外径 /mm	键数	加工方法			
		花键滚刀滚花键		成形磨削	
		精度/mm			
		花键宽	小圆直径	花键宽	小圆直径
18～30	6 和 4	0. 025	0. 05	0. 013	0. 027
>30～50	6 和 4	0. 040	0. 075	0. 015	0. 032
>50～80	6 和 4	0. 050	0. 10	0. 017	0. 042
>80～120	10 和 6	0. 075	0. 125	0. 019	0. 045

（2）花键孔

花键的最大直径 /mm	键数	加工方法			
		拉　削		推　削	
		热处理前的精度/mm			
		花键宽	小圆直径	花键宽	小圆直径
18～30	10、6 和 4	0. 013	0. 018	0. 008	0. 012
>30～50		0. 016	0. 026	0. 009	0. 015
>50～80		0. 016	0. 030	0. 012	0. 019
>80～120		0. 019	0. 035	0. 012	0. 023

7. 5. 2　在铣床上铣削矩形齿花键轴

花键轴可以在专用的花键铣床上采用滚切法进行加工，这种方法有较高的生产率和加工精度。但在没有专用花键铣床或修配较少数量零件时，也可以在普通卧式铣床上进行铣削。

1. 用单刀铣削矩形齿花键轴

（1）工件的装夹与找正　先把工件的一端装夹在分度头的自定心卡盘内，另一端由尾座顶尖顶紧，然后用百分表按下列三个方面进行找正（图7-15）。

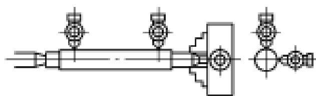


图7-15　花键轴铣削前的找正

1）工件两端的径向圆跳动量。

2）工件的上母线相对于工作台台面的平行度。

3）工件的侧母线相对于纵向工作台移动方向的平行度。

（2）铣刀的选择和安装

1）铣削键侧用刀具。选用直齿三面刃铣刀，外径尽可能小些，以减小铣刀的轴向圆跳动，使铣削平稳，保证键侧有较小的表面粗糙度。铣刀宽度也应尽量小些，以免在铣削中伤及邻齿齿侧。

2）铣削小径用刀具。选用厚度为2～3mm的细齿锯片铣刀铣削。或者自制凹圆弧成形单刀头（用高速钢磨制）铣削（图7-16）。

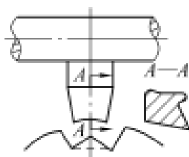


图7-16　铣削小径用成形刀头

铣刀安装时，可将三面刃铣刀与锯片铣刀，以间隔适当的距离安装在同一根刀杆上。这样在加工时，只要移动横向工作台，就可以将花键的键侧及槽底先后铣出，避免了装拆刀具的麻烦。

（3）对刀　对刀时，必须使三面刃铣刀的侧面切削

刃和花键键侧重合，这样才能保证花键的宽度和键侧的对称性。常用对刀方法有以下几种：

1）侧面接触对刀方法。先使三面刃铣刀侧面切削刃微微接触工件外圆表面，然后垂直向下退出工件，再使横向工作台朝铣刀方向移动一个距离 S：

$$S=\frac{D-b}{2}$$

式中　D——工件外径（mm）；

b——花键键宽（mm）。

这种对刀方法简单，对刀时 D 应按实测的尺寸计算。但这种方法有一定的局限性，即当工件外径较大时，由于受铣刀直径的限制，刀杆可能会和工件相碰，此时就不能采用这种方法对刀。

2）用切痕法对刀。如图 7-17 所示，先由操作者目测使工件中心尽量对准三面刃铣刀中心，然后开动机床，并逐渐升高工作台，使铣刀圆周切削刃少量切着工件，再将横向工作台前后移动，就可以在工件上切出一个椭圆形痕迹，只要将工作台逐渐升高，痕迹的宽度也会加宽，当痕迹宽度等于花键键宽后，可移动横向工作台，使铣刀的侧面与痕迹边缘相切，即完成对刀目的。为了去掉这个痕迹，必须在对刀之后将工件转过半个齿距，才能开始铣削。

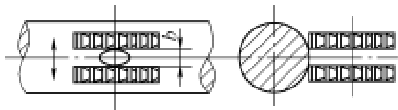


图 7-17　用切痕法对刀

3）用划线法对刀。如图7-18所示，采用这种方法对刀时，先要在工件上划线，划线顺序是：用高度游标卡尺先在工件外圆柱面的两侧各划一条中心线。然后通过分度头将工件转过180°，再用高度游标卡尺试划一次，如两次所划的中心线是重合的即可，如不重合，应调整高度游标卡尺的高度重划，直到划出正确的中心线后为止，然后，分别升高和降低半个花键键宽划出两条键侧线。

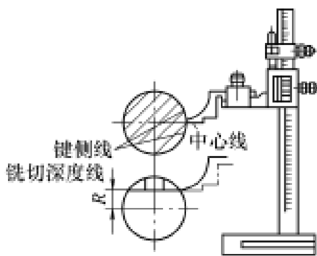


图7-18　用划线法对刀

中心线和键侧线划好后，再通过分度头将工件转过90°，使划线部分外圆朝上，并用高度游标卡尺在工件端面划出花键的铣切深度线。

在铣削时，只要使三面刃铣刀的侧面切削刃对准所划的键侧线即可。

（4）铣削过程

1）铣键侧。对刀之后，可以先依次铣完花键的一侧（图7-19a），然后移动横向工作台，再依次铣完花键的另

一侧（图7-19b），工作台应向铣刀方向移动，移动的距离S可按下式计算：

$$S=B+b$$

式中　B——三面刃铣刀宽度（mm）；

b——花键键宽（mm）。

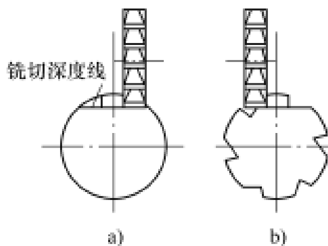


图7-19　铣键侧

在铣削花键一侧时，应在铣第一条花键一段长度后，测量其键宽尺寸是否合格，然后进行调整。

2）铣削小径圆弧面。键侧铣好以后，槽底的凸起余量就可用装在同一根刀杆上的锯片铣刀铣削掉。铣削前应使锯片对准工件的中心线，如图7-20a所示，摇动铣床升降工作台，使切削刃轻轻擦到或贴在齿顶表面的薄纸为止。摇动分度头，使工件转过一定角度，从靠近键的一侧开始铣削（图7-20b），然后将工作台升高到铣切深度，再纵向进给进行铣削，铣完一刀后，摇动分度头手柄，转过几个孔距使工件稍转一些再铣

第二刀，这样铣出的小径是呈多边形的，因此，每铣一刀后工件转过的角度越小，铣削次数越多，小径就越接近一个圆弧（图7-20c）。

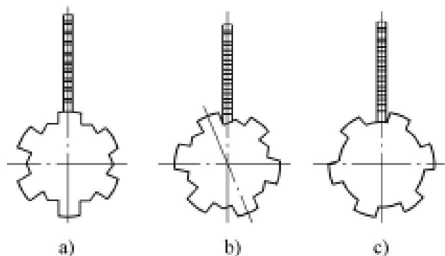


图7-20　铣槽底圆弧面

3）用凹圆弧成形单刀头铣削小径圆弧面（图7-16）。用这种方法铣削小径圆弧可一次完成，但必须注意，使用这种方法对刀比较麻烦，若对刀不准会使铣出的小径圆弧中心和工件不同心。对刀的方法是先将单刀头装夹在专用的刀杆上，而在分度头自定心卡盘和尾座顶尖之间，装上一个与工件完全相同的试件，并要进行找正，然后开动机床，逐渐升高工作台及移动横向工作台，使凹圆弧形刀头两尖角同时擦着试件的表面即可，对刀完毕后，锁紧横向工作台，拆下试件，换上已铣好键侧的花键轴。重新找正后，摇动分度头手柄使花键槽对准刀头凹圆弧后即可铣削加工。

2. 用组合铣刀铣削矩形齿花键轴

用组合铣刀铣削花键时，工件的装夹、调整与用单刀铣削花键时相同，但在选择和安装铣刀时应注意以下几点：

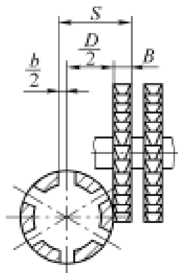


图 7-21　用组合铣刀对刀方法

1）两把铣刀直径必须相同。

2）两把铣刀的间距应等于花键宽度，可用铣刀之间的垫圈或垫片的厚度来保证，并要经过试切确定齿宽在公差范围内。

3）用组合铣刀对刀方法如图7-21所示，与用单刀铣削花键时“用侧面接触对刀方法”基本相同。但工作台横向移动距离 S 计算有所不同：

$$S=\frac{D}{2}+B+\frac{b}{2}$$

式中　D——工件外径（mm）；

B——一把铣刀的宽度（mm）；

b——花键键宽（mm）。

对刀结束后，紧固横向工作台，调整好背吃刀量，即可开始铣削。采用组合铣刀铣削花键键侧和槽底时，可将工件经过两次装夹分别铣削，这样可以避免铣削一根花键轴都要移动横向工作台和调整背吃刀量的麻烦。

7.6 铣削滚子链链轮

精度要求较高或生产数量较多的标准链轮，一般用链轮滚刀在滚齿机上滚切加工。对于数量不多的链轮，常用专用的链轮铣刀加工，铣削同一个节距和滚子直径的链轮铣刀，根据工件齿数不同分为五个刀号数（表 7-12）。其铣削方法和铣直齿圆柱齿轮基本相同。

表 7-12 滚子链链轮铣刀号数

铣刀号数	1	2	3	4	5
铣齿范围	7 ~ 8	9 ~ 11	12 ~ 17	18 ~ 35	35 以上

滚子链链轮铣削时，一般应保证下列几点工艺要求：

1）齿根圆直径尺寸准确。

2）链轮轴向圆跳动量和齿根圆径向跳动量在允许范围内。

3）分度圆节距准确。

4）齿形准确。

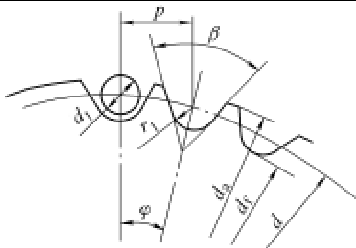
5）齿沟圆弧半径应符合图样要求。

6）表面粗糙度一般应达到 $Ra3.2\mu m$。

在传动要求不高，单件生产、修配或无标准链轮刀具时，当齿数大于 20 齿时，常采用直线端面齿形。在铣床上加工经常遇到的就是这种滚子链链轮。

7.6.1 直线端面齿形滚子链链轮主要尺寸及计算公式（表7-13）

表7-13 直线端面齿形滚子链链轮主要尺寸及计算公式 （单位：mm）



名　　称	代号	计算公式
节距	p	链条节距
滚子直径	d_1	设计参数
链轮齿数	z	设计参数
分度圆直径	d	$d=\dfrac{p}{\sin\dfrac{180°}{z}}$
齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+0.8d_1$
齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2r_1$
齿槽半径	r_1	$r_1=0.505d_1$
链轮转角	φ	$\varphi=\dfrac{360°}{z}$

7.6.2 直线端面齿形滚子链链轮铣削方法

1）工件装夹与找正。当链轮直径和滚子直径较小时，可用分度头装夹。如链轮直径和滚子直径较大时，则采用

回转工作台装夹工件。装夹时应找正链轮外径和轴向圆跳动量在允许范围内。

2）铣链轮齿沟圆弧。

① 在立式铣床上用立铣刀铣链轮齿沟圆弧，如图 7-22 所示。

② 在卧式铣床上用凸半圆铣刀铣链轮齿沟圆弧，如图 7-23 所示。

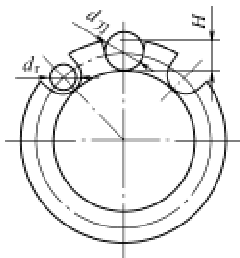


图 7-22　用立铣刀铣链轮齿沟圆弧

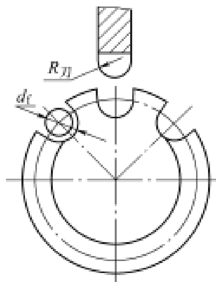


图 7-23　用凸半圆铣刀铣链轮齿沟圆弧

铣刀直径和铣削深度计算公式如下：

$$d_{刀}=1.005d_1-0.10\text{mm}$$

$$H=\frac{d_a-d_f}{2}$$

式中　$d_{刀}$——立铣刀直径或 R 盘铣刀宽度（mm）；

H——铣削深度（mm）；

d_1——滚子直径（mm）；

d_a——齿顶圆直径（mm）；

d_f——齿根圆直径（mm）。

3）铣链轮齿槽两侧。

① 在卧式铣床上用三面刃铣刀铣齿槽两侧。

a. 选择安装铣刀，使三面刃铣刀宽度 B 小于滚子直径 d_1。

b. 把已铣好齿沟圆弧的工作的一条槽校准于居中位置，并把三面刃铣刀的一侧对准工件中心（图 7-24）。然后按齿槽角 β 的要求把工件偏转一个 φ 角（$\beta/2$），工作台横向移动 S 距离，工件台上升距离 H 随齿数不同而变化，一般目测铣至与齿沟圆弧相切。S（mm）值按下式计算：

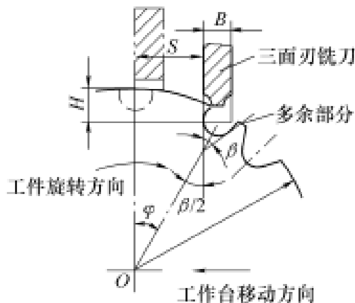


图 7-24　用三面刃铣刀铣链轮齿侧示意图

当 $\beta=58°$ 时：$S=0.242d-0.5d_1$

当 $\beta=60°$ 时：$S=0.25d-0.5d_1$

当 $\beta=62°$ 时：$S=0.258d-0.5d_1$

式中　d——链轮分度圆直径（mm）；

d_1——滚子直径（mm）。

c. 铣齿槽另一侧时，工作台高度不变，分度头反向回转 2φ 角（β），横向工作台反向移动 $2S+B$ 距离即可。

② 用立铣刀铣齿槽两侧。用铣齿沟圆弧的立铣刀，在铣完齿沟圆弧后，把齿坯转过 $\beta/2$ 角，并将工作台偏移一个距离 S（图 7-25），将链轮的一侧余量铣去。

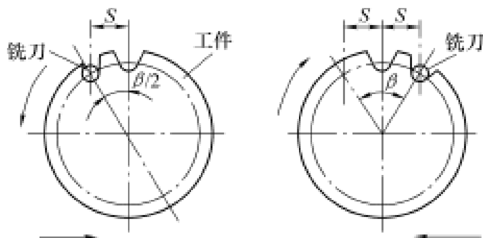


图 7-25　用立铣刀铣链轮齿侧示意图

偏移量 S（mm）按下式计算：

$$S=\frac{d}{2}\sin\frac{\beta}{2}$$

式中　d——链轮分度圆直径（mm）；

β——链轮齿槽角（°）。

铣齿槽另一侧时，使齿坯反向旋转 β 角，工作台反向移动 $2S$ 距离即可。

4）用立铣刀分两次进刀，将链轮沟槽圆弧和齿槽两侧同时铣出的方法。

① 使立铣刀中心对准轮坯中心，然后工作台横向移动一个距离 S，纵向移动一个距离 H。此坐标即是链轮齿沟底

部圆弧。此时，必须记住纵向刻度盘刻度并做好记号。然后纵向移动工作台，使轮坯退离铣刀。这时齿槽的一个侧面与工作台纵向进给方向平行（图 7-26a）。

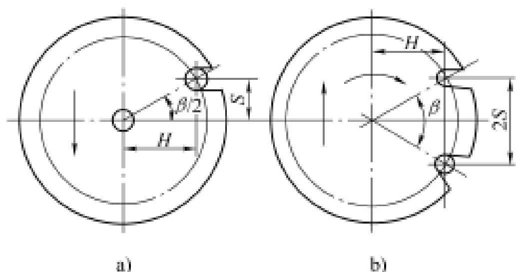


图 7-26　用立铣刀分两次进刀铣削链轮齿槽示意图

a）铣齿槽的一侧面　b）铣齿槽的另一侧面

② 横向移动距离 S 和纵向移动距离 H 按下式计算：

$$S=\frac{d}{2}\sin\frac{\beta}{2}$$

$$H=\frac{d}{2}\cos\frac{\beta}{2}$$

式中　d——链轮分度圆直径（mm）；

β——链轮齿槽角（°）。

③ 升高工作台后做纵向进给，铣至链轮槽底，然后分度依次铣完同一侧面。

④ 铣另一侧齿槽侧面时，工件转过 β 角，工作台横向移动 $2S$ 距离，使另一侧面与纵向进给方向平行，然后依次铣完另一侧（图 7-26b）。

7.6.3 滚子链链轮的测量

为使链条能在链轮上实现盘啮，链轮齿根圆直径的极限偏差均规定为负值。它可以用标准量具直接测量（表7-14）或用量柱间接测量（表7-15）。

表7-14 直接测量最大齿根距离 L_x

（单位：mm）

链轮齿数	偶数齿	奇数齿
简图	d_f	L_x
计算公式	$L_x = d_f = d - d_1$	$L_x = d\cos\frac{90°}{z} - d_1$

表7-15 用量柱测量最大齿根距离 M_R

（单位：mm）

链轮齿数	偶数齿	奇数齿
简图	M_R	M_R
计算公式	$M_R = d + d_R$	$M_R = d\cos\frac{90°}{z} + d_R$

注：量柱直径 $d_R = d_1$。量柱技术要求为：极限偏差为 $^{+0.01}_{0}$ mm；圆度、圆柱度等公差不超过直径公差的一半；表面粗糙度为 $Ra1.6\mu m$；表面硬度为55～60HRC。

7.6.4　链轮工作图标注要求

链轮零件工作图上应列表注明基本参数和齿形等（表7-16）。

表7-16　链轮工作图标注示例

（单位：mm）

节距	p	15.875
滚子外径	d_1	10.16
齿数	z	25
量柱测量距	M_R	$136.57_{-0.25}^{0}$
量柱直径	d_R	$10.16_{0}^{+0.01}$
齿形	按GB/T 1243	

7.7　铣削刀具齿槽

7.7.1　对前角 $\gamma_o=0°$ 的铣刀开齿

1. 用单角铣刀开齿方法

1）选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等。

2）齿槽加工（图7-27a）。将铣刀的端面切削刃对准工件中心，然后切至所要求的齿槽深度，依次将全部齿槽铣出即可。

3）齿背加工。齿槽加工后，可直接用单角铣刀加工齿背，但必须将工件转过一个角度 ω（图7-27b）：

$$\omega=90°-\theta-\alpha_1$$

式中　ω——分度头主轴的回转角（°）；

θ——工件的齿槽角（°）；

α_1——工件的齿背角（°）。

然后可按下式计算出分度头手柄转数 n：

$$n=\frac{\omega}{9^{\circ}}=\frac{90^{\circ}-\theta-\alpha_1}{9^{\circ}}$$

2. 用双角铣刀开齿方法

1）选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等。

2）齿槽加工。可以用双角铣刀加工，但必须使工作铣刀相对工件中心偏移一个距离 S（图 7-28a）：

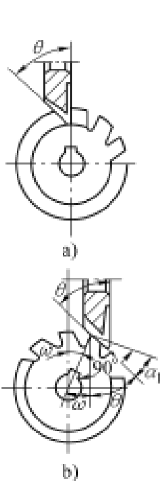


图 7-27　用单角铣刀开齿方法

a）齿槽加工　b）齿背加工

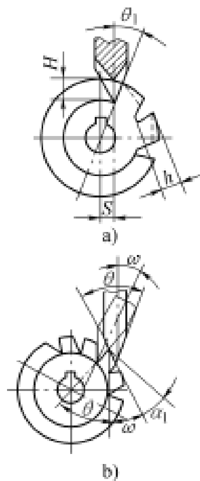


图 7-28　用双角铣刀开齿方法

a）齿槽加工　b）齿背加工

$$S=(R-h)\sin\theta_1$$

偏移后还应计算出升高量 H:

$$H=R-(R-h)\cos\theta_1$$

式中 R——工件半径（mm）；

h——工件齿槽深度（mm）；

θ_1——双角铣刀的小角度（°）。

3）齿背加工（图 7-28b）。分度头主轴回转角 ω 的计算和分度方法与用单角铣刀加工 $\gamma_o=0°$ 的齿背时相同，但公式中的 θ 是代表双角铣刀的角度（包括小角度 θ_1 在内）。

3. 简易对刀方法

用双角铣刀铣前角等于零度的齿槽时，也可采用下面的简易对刀方法。

加工时，刀尖与工件中心线对正后，先铣出浅印 A（图7-29a）,然后将工件转过一个工作铣刀小角度 θ_1，并且使刀尖仍然对正浅印 A（图 7-29b），再降低工作台，使工件按图中箭头 B 的方向离开刀尖一个距离 S（图 7-29c），移动距离 S 用下式计算：

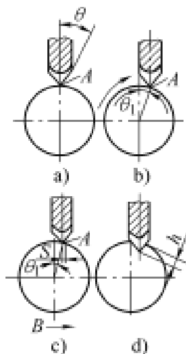


图 7-29　简易对刀方法

$$S=h\sin\theta_1$$

式中 θ_1——工件转过角度（即工作铣刀小角度）(°)；

h——工件齿槽深度（mm）。

工作台横向移动后，接着升高工作台进行铣削。当铣

刀刀齿铣到浅印 A 后（图 7-29d），背吃刀量就达到尺寸要求了。

7.7.2 对前角 $\gamma_o>0°$ 的铣刀开齿

1. 用单角铣刀开齿方法

1）选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等。

2）齿槽加工（图7-30a）。为保证前角 γ_o 的大小，工作铣刀在进给时应与工件中心偏移一个距离 S：

$$S=R\sin\gamma_o$$

计算升高量 H：

$$H=R(1-\cos\gamma_o)+h$$

式中 R——工件半径（mm）；

γ_o——工件前角（°）；

h——工件齿槽深度（mm）。

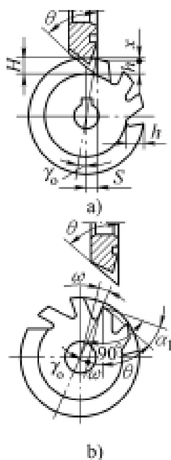


图 7-30 用单角铣刀开齿方法

a）齿槽加工

b）齿背加工

3）齿背加工（图 7-30b）。齿槽加工后，可直接用单角铣刀加工齿背，但必须将工件转过一个角度 ω：

$$\omega=90°-\theta-\alpha_1-\gamma_o$$

式中 ω——分度头主轴的回转角（°）；

θ——工件的齿槽角（°）；

α_1——工件的齿背角（°）；

γ_o——工件前角（°）。

然后再换算成分度头手柄转数 n。

4）简易对刀方法。用单角铣刀铣削前角大于零度齿槽的简易对刀方法如图7-31所示。先使单角铣刀端面切削

刀对准工件中心，并铣出浅印 A，然后，将工件按图中所示箭头方向转动一个 γ_o 角（刀坯前角），再重新使铣刀刀尖和浅印 A 对准，工作台升高一个齿槽深度 h 后，就可正式铣削。

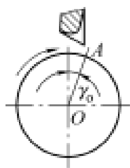


图 7-31　简易对刀方法

2. 用双角铣刀开齿方法

1）选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等。

2）齿槽加工。计算铣刀偏移距离 S（图 7-32a）：

$$S = R\sin(\theta_1 + \gamma_o) - h\sin\theta_1$$

计算升高量 H：

$$H = R[1 - \cos(\theta_1 + \gamma_o)] + h\cos\theta_1$$

式中　R——工件半径（mm）；

γ_o——工件前角（°）；

θ_1——双角铣刀的小角度（°）；

h——工件齿槽深（mm）。

3）齿背加工（图7-32b）。ω 的计算和分度方法与用单角铣刀加工 $\gamma_o > 0°$的齿背时相同。

7.7.3　圆柱螺旋齿铣刀的铣削

1. 刀具的选择

加工螺旋齿应该用双角铣刀。双角铣刀的角度和旋向应根据工件的齿槽角决定（图7-33）。如果工件的旋向为“右旋”时，应选用“左切”双角铣刀；如果工件的旋向为“左旋”时，应选用“右切”双角铣刀。

如果没有合适的刀具，用“左切”双角铣刀加工

"左旋"齿槽或用"右切"双角铣刀加工"右旋"齿槽时，一般工作台角度应多倾斜3°左右，用来弥补可能发生的"内切"现象。

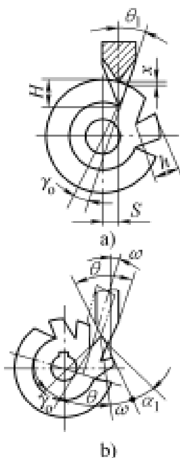


图7-32　用双角铣刀开齿方法
a）齿槽加工
b）齿背加工

2. 工作台倾斜角度的确定

铣"右旋"齿槽，工作台逆时针转动一个螺旋角。铣"左旋"齿槽，工作台顺时针转动一个螺旋角（图7-34）。

当工件螺旋角 $\beta<20°$ 时，工作台倾斜角度等于工件的螺旋角 β。当工件螺旋角 $\beta>20°$ 时，为了避免工作铣刀发生"内切"，工作台实际倾斜角度 β_1 应小于工件螺旋角 β：

$$\tan\beta_1 = \tan\beta\cos(\theta_1 + \gamma_{on})$$

式中　β——工件螺旋角（°）；
β_1——工作台实际转角（°）；
θ_1——工作铣刀的小角度（°）；
γ_{on}——工件的法向前角（°）。

3. 传动比 i 的计算

计算公式为

$$i = \frac{40P}{P_h} = \frac{40P}{\pi D\cot\beta}$$

式中　40——分度头定数；
P——铣床纵向工作台丝杠螺距（mm）；
P_h——工件导程（mm）；

D——工件外径（mm）。

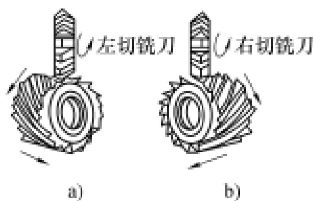


图 7-33　工作铣刀

a）右旋开齿　b）左旋开齿

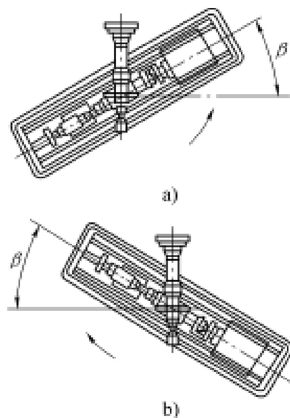


图 7-34　工作台倾斜角度的确定

a）右旋铣刀开齿　b）左旋铣刀开齿

4. 偏移量 S 和升高量 H 的计算

计算公式为

$$S = R\sin(\theta_1 + \gamma_{on}) - h\sin\theta_1$$

$$H = R[1 - \cos(\theta_1 + \gamma_{on})] + h\cos\theta_1$$

式中 R——工件半径（mm）；

γ_{on}——工件法向前角（°）；

θ_1——工作铣刀的小角度（°）；

h——工件的齿槽深（mm）。

7.7.4 麻花钻的铣削

常用的麻花钻有两条螺旋形沟槽，其螺旋角为 β（图7-35）。

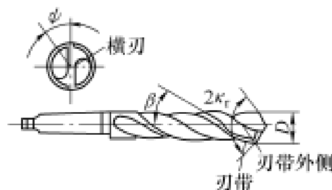


图 7-35 麻花钻

1. 刀具的选择

铣削钻头螺旋槽及齿背所用的铣刀是一组特形铣刀，其刀齿的几何形状根据钻头的直径来决定（图7-36）。如果选择得不正确，就不能保证加工出来的钻头钻槽截形。

2. 工件装夹

由于钻头工作部分的钻心直径是带锥度的，即从头部

向柄部方向逐渐增大，所以在铣削时，还应将分度头主轴向上倾斜一个角度 α。α 大小应根据钻心直径的增大量确定，一般每 100mm 的长度，钻头工作部分钻心直径的增大量为 1.4～1.8mm。分度头找正后还应调整顶尖，然后夹好。

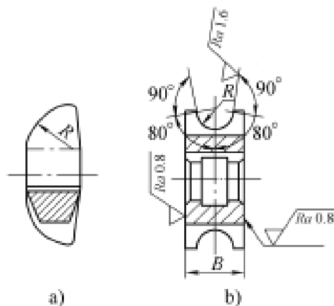


图 7-36　铣钻头用铣刀
a）铣槽刀　b）铣齿背刀

3. 参数计算

工作台转角大小、转动方向、传动比计算与铣圆柱螺旋齿铣刀相同。

4. 对刀

对刀时一般采用试铣的方法。

7.7.5　端面齿的铣削

1. 刀具的选择

采用单角铣刀，其工作铣刀的角度必须与所要加工铣

刀的齿槽角 θ 相等。

2. 分度头倾斜角 φ 的计算公式

三面刃铣刀、单角铣刀等，都具有端面齿。为保证刀齿全长上刃口棱边的宽度相等，在开齿时应把分度头主轴倾斜一个角度 φ（图7-37）：

$$\cos\varphi = \tan\frac{360°}{z}\cot\theta$$

式中 z——刀坯齿数；

θ——工作铣刀截形角（°）。

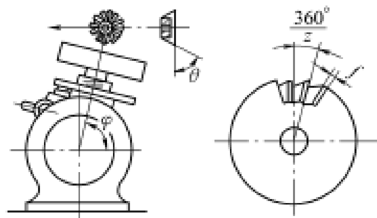


图 7-37 端面齿的铣削

3. 偏移量 S 的计算

当被加工工件前角等于零度时，单角工作铣刀的端面切削刃对准工件中心就可以进行铣削。

当被加工工件前角大于零度时，单角工作铣刀端面切削刃对正工件中心后还需将工作台横向移动一个距离 S：

$$S = R\sin\gamma_{os}$$

式中 R——工件半径（mm）；

γ_{os}——工件刀齿端面前角（°）。

实际生产中，虽然计算出偏移量 S 值，但为了保证端

面切削刃和圆周切削刃互相对齐，平滑连接，往往采用试铣方法来对刀。

7.7.6　锥面齿的铣削

1）工作铣刀的选用及横向偏移量 S 的计算与铣削端面齿相同。

2）分度头倾斜角 φ 的计算。锥面刀齿也要求刀齿在全长上棱边宽度一致，所以齿槽应是大端深、小端浅，因此铣削时分度头也要倾斜一个角度 φ（图7-38）：

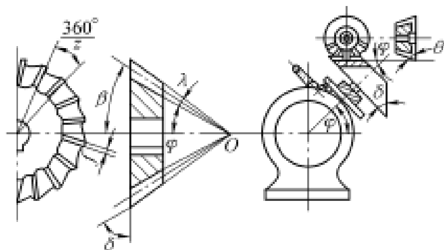


图 7-38　锥面齿的铣削

$$\varphi = \beta - \lambda$$

$$\tan\beta = \cos\frac{360°}{z}\cot\delta$$

$$\sin\lambda = \tan\frac{360°}{z}\cot\theta\sin\beta$$

式中　β——工件刀齿齿高中线与工件中心线间夹角（°）；

λ——工件刀齿中线与齿槽底线间夹角（°）；

z——工件刀齿数；

δ——工件锥面与大端端面的夹角（°）；

θ——工作铣刀角度（°）。

3）实际生产中，铣削背吃刀量 a_p 也采用试切方法来确定，主要应保证锥面上切削刃棱边宽度所规定的数值。

7.7.7 铰刀的开齿

一般铰刀有圆柱铰刀和圆锥铰刀两种（图7-39）。圆柱铰刀的开齿方法与在圆盘形刀坯上开直齿时相同。

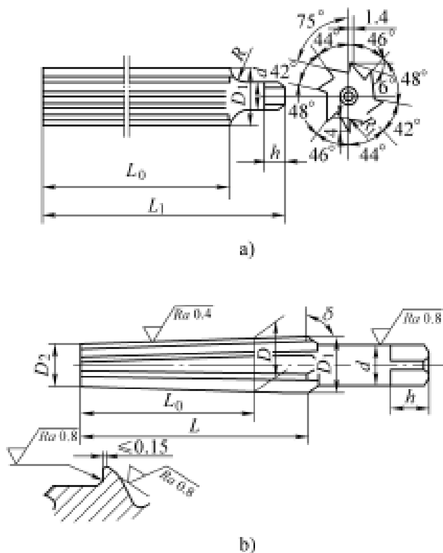


图 7-39 铰刀

a）圆柱铰刀 b）圆锥铰刀

圆锥铰刀有等分齿和不等分齿之分，不等分齿较常见，故需分度。为了保证全部刀齿的切削刃宽度一致，在加工中各齿的背吃刀量不应完全一致。中心角大的刀齿铣得深些，中心角小的刀齿铣得浅些。

另外铣削圆锥铰刀时，还要将分度头倾斜一个角度，其计算公式与角铣刀开锥面齿时的公式相同。因一般圆锥铰刀的工作图中，未给出刀齿角 δ，而是给出大、小端直径及工作部分长度，这时可按下式求出刀齿角 δ：

$$\tan\delta = \frac{D_1 - D_2}{2L}$$

式中　D_1——铰刀大端直径（mm）；

D_2——铰刀小端直径（mm）；

L——铰刀圆锥部分长度（mm）。

求出 δ 后，可代入铣锥面齿的有关公式中，求出分度头的倾斜角 φ 即可加工。铰刀刀齿的不等分分度见表 7-17。

表 7-17　铰刀刀齿的不等分分度

（分度头定数 40，铣 6～16 齿铰刀时，取用 49 孔分度盘）

铰刀齿数	第一个角度	转数	孔数	第二个角度	转数	孔数	第三个角度	转数	孔数	第四个角度	转数	孔数
6	58°2′	6	22	59°53′	6	32	62°5′	6	44			
8	42°	4	32	44°	4	44	46°	5	6	48°	5	16
10	33°	3	34	34°30′	3	41	36°	4	—	37°30′	4	8
12	27°30′	3	3	28°30′	3	8	29°30′	3	14	30°30′	3	19
14	23°30′	2	30	24°15′	2	34	25°	2	38	25°45′	2	43
16	20°30′	2	14	21°	2	17	21°30′	2	20	22°15′	2	23

（续）

铰刀齿数	第五个角度	转数	孔数	第六个角度	转数	孔数	第七个角度	转数	孔数	第八个角度	转数	孔数
6												
8												
10	39°	4	15									
12	31°30′	3	24	32°30′	3	30						
14	26°30′	2	46	27°	3	—	28°	3	5			
16	22°45′	2	26	23°15′	2	29	24°	2	32	24°45′	2	35

第 8 章　磨 工 技 术

8.1　砂轮的安装与修整

8.1.1　砂轮的安装

一般砂轮安装采用法兰盘安装（图 8-1），安装时应注意以下几点：

1）装夹前应进行声响检查：用绳子将砂轮吊起，轻击砂轮，声音应清脆，没有颤音或杂音。

2）两个法兰盘的直径必须相等，以便砂轮不受弯曲应力而导致破裂。法兰盘的最小直径应不小于砂轮直径的 1/3，在没有防护罩的情况下应不小于 2/3。

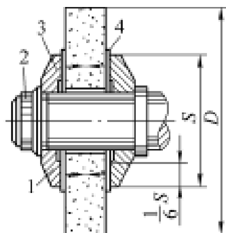


图 8-1　用法兰盘安装砂轮

1—铅衬垫　2—螺母
3—法兰盘　4—弹性衬垫

3）砂轮和法兰之间必须放橡胶、毛毡等弹性材料，以增加接触面，使受力均匀。装夹后，经静平衡，砂轮应在最高转速下试转 5min 后才能正式使用。

8.1.2　砂轮静平衡调整方法

采用手工操作调整砂轮静平衡时，须使用平衡架（图 8-2）、平衡心轴（图 8-3）及平衡块、水平仪

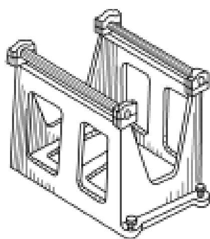


图 8-2　平衡架

等工具。

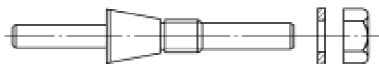


图 8-3　平衡心轴

砂轮静平衡的调整方法（图 8-4）：

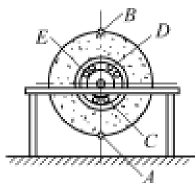


图 8-4　砂轮静平衡的调整方法

1）找出通过砂轮重心的最下位置点 *A*。

2）与 *A* 点在同一直径上的对应点做一记号 *B*。

3）加入平衡块 *C*，使 *A* 和 *B* 两点位置不变。

4）再加入平衡块 *D*、*E*，并仍使 *A* 和 *B* 两点位置不变。如有变动，可上下调整 *D*、*E* 使 *A*、*B* 两点恢复原位。此时砂轮左右已平衡。

5）将砂轮转动 90°。如不平衡，将 *D*、*E* 同时向 *A* 或 *B* 点移动，直到 *A*、*B* 两点平衡为止。

6）如此调整，直至砂轮能在任何方位上稳定下来，砂轮就平衡好了。根据砂轮直径的大小，检查 6 个或 8 个方位即可。

应注意的几点：

1）平衡架要放水平，特别是纵向。

2）将砂轮中的冷却液甩净。

3）砂轮要紧固，法兰盘、平衡块要洗净。

4）砂轮法兰盘内锥孔与平衡心轴配合要紧密，心轴不应弯曲。

5）砂轮平衡后，平衡块应紧固。

6）平衡架最好采用刀口式，因与心轴接触面小，反应较灵敏。

8.1.3　修整砂轮

1）修整砂轮的基本原则应根据工件表面精度要求、砂轮性质、工件材料和加工形式等决定砂轮表面修整的粗细及采用的方法。

① 表面精度要求高，砂轮修整得要平细。

② 工件材料硬，接触面大，砂轮修整得要粗糙。

③ 粗磨比精磨的砂轮修整得要粗糙。

④ 横向、纵向进给量大时，砂轮表面要粗糙。

⑤ 横向、纵向进给量小时，砂轮表面要平细。

⑥ 采用低表面粗糙度、高精度磨削时，砂轮应适当留有空进给。

2）砂轮修整的方法见表 8-1。

表 8-1　砂轮修整的方法

修整方法	图　　示	修整工具及适用范围
车削法	工作台速度	1）车削法是最常用的一种砂轮修整方法，多采用单颗粒金刚石工具。修整时，金刚石将磨粒打碎，形成切刃，并使磨粒脱落。适用于粗磨和精磨，能获得较好的修整效果，但天然金刚石价格高，修整工具的消耗大。金刚石顶角应保持在 70°～80°。安装角度约为 10°

（续）

修整方法	图　　示	修整工具及适用范围
车削法		2）车削法修整还可采用天然金刚石片状修整器、金刚石笔等修整工具。片状修整器有较好的切削性能和较长的寿命，适用于无修磨大金刚石设施的企业。价格较低，货源较多
磨削法	1—头架　2—心轴 3—碳化硅砂轮 4—砂轮　5—砂轮架 6—尾座	1）修整工具和砂轮之间的运动相似于外圆磨削。特点是简单而不需增加专用传动装置，并使砂轮与工件接触均匀 2）砂轮切削性能差，磨削力和磨削功率较大，工件易烧伤，砂轮寿命短，通常用于成形修整或节省天然金刚石。修整轮往往采用碳化硅砂轮、硬质合金圆盘、金刚石滚轮等

8.1.4　砂轮修整工具及其选用

修整砂轮多采用金刚石工具，运用车削法进行。

（1）单颗粒金刚石　金刚石的顶角一般取70°~80°为合理，并应经常保持金刚石的锋利性。

金刚石安装的角度一般取为10°（图8-5），其安装高度应低于砂轮中心0.5~1mm。

修整时应浇注充分的冷却液，并浇注在整个砂轮宽

度上。

干磨修整砂轮时，修几刀后应停一会，使金刚石得以冷却。

所采用的金刚石颗粒的大小，是根据砂轮直径确定的，见表 8-2。

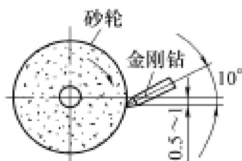


图 8-5　砂轮修整

表 8-2　金刚石颗粒大小的选择

砂轮直径/mm	金刚石颗粒大小/ct①
200 以下	0. 15 ~0. 25
200 ~300	0. 25 ~0. 35
300 ~500	0. 5 ~0. 75
500 ~600	1. 0 ~1. 25
600 ~900	1. 25 ~1. 75

①　ct 是克拉，1ct =0. 203g。

（2）金刚石片状修整器　金刚石片状修整器由小的金刚石颗粒烧结而成。其规格的选用要根据砂轮直径大小来确定，见表 8-3。

表 8-3　金刚石片状修整器及其选用

磨削方法	砂轮直径/mm	砂轮粒度	金刚石片状修整器型号
外圆磨、平面磨、成形磨、外圆磨靠端面磨等，用于修整阶梯形、曲线	<750 <600 <500	F36 ~ F60 F46 ~ F80 细于 F60	YP_1-30 YP_1-50 YP_1-80

（续）

磨削方法	砂轮直径/mm	砂轮粒度	金刚石片状修整器型号
外圆磨、平面磨、外圆磨靠端面磨等	400～900	F36～F60 F46～F80 细于 F60	YP_2-30 YP_2-50 YP_2-80
内圆磨、平面磨等	<350	F36～F60 F46～F80 细于 F60	YT-30 YT-50 YT-80
平面磨及工具磨等修整圆弧	250～600	F36～F60 F46～F80 F60 以细	FP_1-30 FP_1-50 FP_1-80
外圆磨、无心磨等多砂轮磨削及筒形砂轮修整	400～1400	F36～F60 F46～F80 细于 F60	FP_2-30 FP_2-50 FP_2-80

（3）金刚石笔　根据形状和结构不同金刚石笔又分为 L 型（链状）、C 型（层状）、F 型（粉状）。金刚石笔的选用见表 8-4。

表 8-4　金刚石笔及其选用

磨削方法	砂轮直径/mm	金刚石笔型号
外圆磨	900～1100 600～750 300～500 ≤250	L_1、C_1 L_2、C_2、F-10 L_3、C_3、F-8 L_4、C_4

（续）

磨削方法		砂轮直径/mm	金刚石笔型号
平面磨		300～500 ≤250	L_1、L_2、C_2、F-8 L_3、C_3、F-8
无心磨	磨削轮	300（B≤100） 400～600（B<200） 600（B≥400）	L_3、C_2、C_3、F-8 L_2、F-10 L_1
	导轮	≤300（B<200） 300～500（B≥250）	L_4、C_4 L_2、L_3、F-8
内圆磨		12～60 70～150 >200	L_4、F-4 L_4、C_4 L_3、L_4、C_4、F-8
磨沟槽 磨槽侧		200 200	L_4、C_3 F-8
齿轮磨		250	L_3、C_4、F-8
螺纹磨螺距/mm	0.5	400	F100-4
	0.5～0.8	400	F100-4
	0.8～1.25	400	F80-4
	1.25～2.0	400	F60-4
	2.0～3.0	400	F46-4
	3 以上	400	F36-4

注：B 为砂轮厚度。

8.2 常用磨削液的名称及性能（表8-5）

表8-5 常用磨削液的名称及性能

名称	原液组成(质量分数,%)	使用性能
69-1 乳化液	石油磺酸钡 10 磺化蓖麻油 10 油酸 2.4 三乙醇胺 10 氢氧化钾 0.6 L-AN7～10 全损耗系统用油 余量	用于磨削钢与铸铁件 原液配比2%～5%
NL 乳化液	石油磺酸钠 36 蓖麻油酸钠皂 19 三乙醇胺 6 苯骈三氮唑 0.2 L-AN7 高速全损耗系统用油 余量	乳化剂含量高,低浓度，为浅色透明液 用于磨削黑色及非铁金属 原液配比2%～3%
防锈乳化液	石油磺酸钠 11～12 石油磺酸钡 8～9 环烷酸钠 12 三乙醇胺 1 L-AN15 全损耗系统用油 余量	用于磨削黑色金属及光学玻璃，加入0.3%亚硝酸钠及0.5%碳酸钠于已配好的乳化液中，可进一步提高防锈性能 原液配比2%～5%

（续）

名称	原液组成（质量分数，%）	使用性能
半透明乳化液	石油磺酸钠 39.4 三乙醇胺 8.7 油酸 16.7 乙酸 4.9 L-AN15 全损耗系统用油 余量	用于精磨，配制时可加 0.2 苯乙醇胺 原液配比 2%～3%
极压乳化液	防锈甘油络合物（硼酸 62 份、甘油 92 份、45% 的氢氧化钠 65 份） 22.4 硫代硫酸钠 9.4 亚硝酸钠 11.7 三乙醇胺 7 聚乙二醇（相对分子质量 400） 2.5 碳酸钠 5 水 余量	有良好的润滑和防锈性能，多用于黑色金属磨削 原液配比 5%～10%
420 号磨削液	甘油 0.5 三乙醇胺 0.4 苯甲酸钠 0.5 亚硝酸钠 0.8～1 水 余量	用于高速磨削与缓进给磨削，有时要加消泡剂，如将甘油换为硫化油酸聚氧乙烯醚可提高磨削效果，如换为氯化硬脂酸聚氧乙烯醚适于磨 I_n-738 叶片

（续）

名称	原液组成（质量分数，%）	使用性能
3 号高负荷磨削液	硫化油酸 30 三乙醇胺 23.3 非离子型表面活性剂 16.7 硼酸盐 5 水 25 消泡剂（有机硅）另加 2.5/1000①	具有良好的清洗、冷却等性能，有较高的极压性（pK 值 >2500N） 适用于缓进给强力磨削 原液配比 1.5 ~3%
磨削液	三乙醇胺 17.5 癸二酸 10 聚乙二醇（相对分子质量 400） 10 苯骈三氮唑 2 水 余量	用于磨削黑色金属与有色金属，不磨铜件，可不加苯骈三氮唑 原液配比 1% ~2%

① 占磨削液的质量分数。

8.3 外圆磨削

外圆磨削是对工件圆柱形、圆锥形外表面、多台阶轴外表面及旋转体外曲面进行的磨削。外圆磨削一般能达到 $Ra0.32$ ~$Ra1.25\mu m$ 的表面粗糙度值、加工尺寸公差等级为 IT6 ~ IT7。

8.3.1 外圆磨削工件装夹方法（表 8-6）

表 8-6　外圆磨削工件装夹方法

方法	图　　示	应用说明
用前、后顶尖装夹工件		这种方法装夹时利用工件两端的中心孔，把工件支承在前、后顶尖之间，工件由头架的拨盘和拨杆带动夹头旋转，特点是安装方便，定位精度高
用自定心卡盘、单动卡盘装夹工件（带锥柄法兰盘式）	拉杆 主轴 法兰盘 定心圆柱面	它的锥柄与主轴前端内锥孔配合，用拉杆拉紧法兰盘。法兰盘与卡盘通过“定心圆柱面”配合，然后用螺钉紧固

（续）

方法	图　　示	应用说明
用自定心卡盘、单动卡盘装夹工件（带锥孔法兰盘式）	主轴 法兰盘	它的内锥孔与主轴的外圆锥面配合，法兰盘用螺钉紧固在主轴前端的法兰上，安装时需用百分表检查它的轴向圆跳动量，然后再把卡盘安装在法兰上
用一夹一顶装夹工件		是一端用卡盘夹住，另一端用后顶尖顶住的方法。这种方法装夹牢固、安全、刚性好。但应保证磨床主轴的旋转轴线与后顶尖在同一直线上

（续）

方法	图　　示	应用说明
用台阶式心轴装夹工件	D(H7) d(h6) 快换垫圈	这种心轴的圆柱部分与零件孔之间保持较小间隙配合，工件靠螺母压紧，定位精度较低
用小锥度心轴装夹工件	1:1000～1:500	心轴锥度为 1∶1000 ～ 1∶5000，这种心轴制造简单，定位精度高，靠工件在心轴上所产生的弹性变形来定位并胀紧工件，缺点是承受切削力小，装夹不太方便

（续）

方法	图　　示	应用说明
用胀力心轴装夹工件		胀力心轴依靠材料弹性变形所产生的胀力来固定工件，装夹方便，定位精度高，零星工件加工用胀力心轴可采用铸铁材料做成
用堵头装夹工件	 a）圆柱、圆锥堵头　b）法兰盘式堵头	磨削较长的空心工件时，不便使用心轴装夹，这时可在工件两端装上堵头，堵头上有中心孔，可代替心轴装夹工件；图 b 是法兰盘式堵头适用于两端孔径较大的工件

8.3.2　砂轮的选择

外圆磨削应根据所加工工件的材料及技术要求、选择适当磨料、粒度、硬度、结合剂的砂轮。磨外圆时砂轮的选择可参考表 8-7 选用。

表 8-7　磨外圆时砂轮的选择

加工材料	磨削要求	砂轮的特性			
		磨料	粒度	硬度	结合剂
未淬火的碳钢及合金钢	粗磨 精磨	A A	F36 ~ F46 F46 ~ F60	M ~ N M ~ Q	V V
软青铜	粗磨 精磨	C C	F24 ~ F36 F46 ~ F60	K K ~ M	V V
不锈钢	粗磨 精磨	SA SA	F36 F60	M L	V V
铸铁	粗磨 精磨	C C	F24 ~ F36 F60	K ~ L K	V V
纯铜	粗磨 精磨	C WA	F36 ~ F46 F60	K ~ L K	B V
硬青铜	粗磨 精磨	WA PA	F24 ~ F36 F46 ~ F60	L ~ M L ~ P	V V
调质的合金钢	粗磨 精磨	WA PA	F40 ~ F60 F60 ~ F80	L ~ M M ~ P	V V
淬火的碳钢及合金钢	粗磨 精磨	WA PA	F46 ~ F60 F60 ~ F100	K ~ M L ~ N	V V

（续）

加工材料	磨削要求	砂轮的特性			
		磨料	粒度	硬度	结合剂
渗氮钢（38CrMoAlA）	粗磨 精磨	PA SA	F46 ~ F60 F60 ~ F80	K ~ N L ~ M	V V
高速钢	粗磨 精磨	WA PA	F36 ~ F46 F60	K ~ L K ~ L	V V
硬质合金	粗磨 精磨	GC SD	F46 F100	K K	V B

8.3.3 外圆磨削砂轮速度（表 8-8）

表 8-8 外圆磨削砂轮速度

砂轮速度/（m/s）	陶瓷结合剂砂轮	≤35
	树脂结合剂砂轮	<50

8.3.4 外圆磨削余量的合理选择（表 8-9）

表 8-9　外圆的磨削余量（直径余量）　（单位：mm）

工件直径	余量限度	磨削前								粗磨后精磨前	精磨后研磨前
		未经热处理的轴				经热处理的轴					
		轴的长度									
		100以下	101～200	201～400	401～700	100以下	101～300	301～600	601～1000		
≤10	max	0.20	—	—	—	0.25	—	—	—	0.020	0.008
	min	0.10	—	—	—	0.15	—	—	—	0.015	0.005
11～18	max	0.25	0.30	—	—	0.30	0.35	—	—	0.025	0.008
	min	0.15	0.20	—	—	0.20	0.25	—	—	0.020	0.006
19～30	max	0.30	0.35	0.40	—	0.35	0.40	0.45	—	0.030	0.010
	min	0.20	0.25	0.30	—	0.25	0.30	0.35	—	0.025	0.007
31～50	max	0.30	0.35	0.40	0.45	0.40	0.50	0.55	0.70	0.035	0.010
	min	0.20	0.25	0.30	0.35	0.25	0.30	0.40	0.50	0.028	0.008

（续）

工件直径	余量限度	磨削前								粗磨后精磨前	精磨后研磨前
		未经热处理的轴				经热处理的轴					
		轴的长度									
		100以下	101～200	201～400	401～700	100以下	101～300	301～600	601～1000		
51～80	max	0. 35	0. 40	0. 45	0. 55	0. 45	0. 55	0. 65	0. 75	0. 035	0. 013
	min	0. 20	0. 25	0. 30	0. 35	0. 30	0. 35	0. 45	0. 50	0. 028	0. 008
81～120	max	0. 45	0. 50	0. 55	0. 60	0. 55	0. 60	0. 70	0. 80	0. 040	0. 014
	min	0. 25	0. 35	0. 35	0. 40	0. 35	0. 40	0. 45	0. 45	0. 032	0. 010
121～180	max	0. 50	0. 55	0. 60	—	0. 60	0. 70	0. 80	—	0. 045	0. 016
	min	0. 30	0. 35	0. 40	—	0. 40	0. 50	0. 55	—	0. 038	0. 012
181～260	max	0. 60	0. 60	0. 65	—	0. 70	0. 75	0. 85	—	0. 050	0. 020
	min	0. 40	0. 40	0. 45	—	0. 50	0. 55	0. 60	—	0. 040	0. 015

8.4　内圆磨削

内圆磨削是对工件圆柱孔、圆锥孔、孔端面和特殊形状内孔表面进行的磨削。内圆磨削一般能达到 *Ra*0.02～*Ra*0.01μm 的表面粗糙度值，加工尺寸公差等级为 IT6～IT7。

8.4.1　内圆磨削工件装夹方法（表 8-10）

表 8-10　内圆磨削工件装夹方法

方法	图　　示	应用说明
用自定心卡盘、单动卡盘装夹工件		内圆磨削用自定心卡盘、单动卡盘装夹工件的方法与外圆磨削基本相同，与其磨床主轴连接所用法兰盘形式也相同
用花盘装夹工件	配重块 花盘 工件 压板 定位工具 a)	花盘主要用于装夹各种外形比较复杂的工件（图 a）

（续）

方法	图　　示	应用说明
用花盘装夹工件	b) 磨内孔　磨外圆 c)	根据加工的需要也可采用花盘与角铁结合的方法装夹工件（图 b） 对于工件直径较大，尺寸精度和几何精度要求较高的薄壁圆盘类工件装夹在花盘上用端面压紧方法磨削（图 c）
用卡盘和中心架装夹工件		磨削较长的轴套类工件内孔时，可采用卡盘和中心架装夹工件，以提高工件安装定位的稳定性

（续）

方法	图　　示	应用说明
用开口套装夹工件		装夹工件时，开口套与工件的接触面积大，夹紧力均匀分布在工件上，所以工件不易产生变形，能达到较高的同轴度，适用于薄壁工件的装夹
用专用夹具装夹工件	夹具 工件 锁紧螺母 轴向夹紧力	依据加工零件的特点设计制做专用夹具，工件装入夹具体孔中（用外圆和端面定位），用锁紧螺母将工件轴向夹紧，可防止工件变形，适用于薄壁工件的装夹

8.4.2　内圆磨削砂轮的选择及安装

（1）内圆磨削砂轮的选择　内圆磨削时，由于孔径的限制，所用砂轮直径与外圆磨削相比较小，砂轮转速又受到内圆磨具转速的限制（目前一般内圆磨具的转速在10000～20000r/min之间），因此磨削速度一般在20～30m/s之间。由于磨削速度较低，磨削表面粗糙度值不易减小。

内圆磨削时，由于砂轮与工件成内切圆接触，砂轮与工件的接触弧比外圆磨削大，因此磨削热和磨削力均较大，磨粒容易磨钝，工件容易发热或烧伤。

内圆磨削时，切削液不易进入磨削区域，磨屑也不易排出，影响砂轮磨削性能。

内圆磨削时，砂轮接长轴的刚性比较差，容易产生弯曲变形和振动，对加工精度和表面粗糙度都有很大影响，同时也限制了磨削用量的提高。

综上内圆磨削的基本特点。因此，内圆磨削对砂轮的选择，既要保证有理想的磨削速度，又要保证在磨削中有合理的切削力、切削热及排屑、冷却、润滑等。

磨内圆砂轮的选择可参考表8-11。

表8-11　磨内圆砂轮的选择

（单位：mm）

（1）磨内圆砂轮直径的选择			
被磨孔的直径	砂轮直径	被磨孔的直径	砂轮直径
12～17	10	17～22	15

（续）

<table>
<tr><td colspan="4">（1）磨内圆砂轮直径的选择</td></tr>
<tr><td>被磨孔的直径</td><td>砂轮直径</td><td>被磨孔的直径</td><td>砂轮直径</td></tr>
<tr><td>22～27</td><td>20</td><td>55～70</td><td>50</td></tr>
<tr><td>27～32</td><td>25</td><td>70～80</td><td>65</td></tr>
<tr><td>32～45</td><td>30</td><td>80～100</td><td>75</td></tr>
<tr><td>45～55</td><td>40</td><td>100～125</td><td>85</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="5">（2）磨内圆砂轮宽度的选择</td></tr>
<tr><td>磨削长度</td><td>14</td><td>30</td><td>45</td><td>>50</td></tr>
<tr><td>砂轮宽度</td><td>10</td><td>25</td><td>32</td><td>40</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="6">（3）磨内圆砂轮的选择</td></tr>
<tr><td rowspan="2">加工材料</td><td rowspan="2">磨削要求</td><td colspan="4">砂轮的特性</td></tr>
<tr><td>磨粒</td><td>粒度</td><td>硬度</td><td>结合剂</td></tr>
<tr><td rowspan="2">未淬火的碳素钢</td><td>粗磨</td><td>A</td><td>F24～F46</td><td>K～M</td><td>V</td></tr>
<tr><td>精磨</td><td>A</td><td>F46～F60</td><td>K～N</td><td>V</td></tr>
<tr><td rowspan="2">铝</td><td>粗磨</td><td>C</td><td>F36</td><td>K～L</td><td>V</td></tr>
<tr><td>精磨</td><td>C</td><td>F60</td><td>L</td><td>V</td></tr>
<tr><td rowspan="2">铸铁</td><td>粗磨</td><td>C</td><td>F24～F36</td><td>K～L</td><td>V</td></tr>
<tr><td>精磨</td><td>C</td><td>F46～F60</td><td>K～L</td><td>V</td></tr>
<tr><td rowspan="2">纯铜</td><td>粗磨</td><td>A</td><td>F16～F24</td><td>K～L</td><td>V</td></tr>
<tr><td>精磨</td><td>A</td><td>F24</td><td>K～M</td><td>B</td></tr>
<tr><td rowspan="2">硬青铜</td><td>粗磨</td><td>A</td><td>F16～F24</td><td>J～K</td><td>V</td></tr>
<tr><td>精磨</td><td>A</td><td>F24</td><td>K～M</td><td>V</td></tr>
</table>

（续）

（3）磨内圆砂轮的选择					
加工材料	磨削要求	砂轮的特性			
		磨粒	粒度	硬度	结合剂
调质合金钢	粗磨	A	F46	K ~ L	V
	精磨	WA	F60 ~ F80	K ~ L	V
淬火的碳钢及合金钢	粗磨	WA	F46	K ~ L	V
	精磨	PA	F60 ~ F80	K ~ L	V
渗氮钢	粗磨	WA	F46	K ~ L	V
	精磨	SA	F60 ~ F80	K ~ L	V
高速钢	粗磨	WA	F36	K ~ L	V
	精磨	PA	F24 ~ F36	M ~ N	B

（2）砂轮的安装　磨内圆砂轮一般都安装在砂轮接长轴的一端，而接长轴的另一端与磨头主轴连接。也有些磨床磨内圆砂轮直接安装在内圆磨具的主轴上。砂轮安装方法有螺纹紧固和粘结剂紧固两种方法，见表 8-12。

表 8-12　磨内孔砂轮的安装

安装方法	图　　示	应注意的问题
用螺纹紧固	平行砂轮 单面凹砂轮	1）因螺纹有较大的夹紧力，故可以使砂轮安装得比较牢固 2）砂轮内孔与接长轴的配合间隙要适当，一般不超过 0.2mm 3）砂轮的两个端面必须垫上厚度为 0.2 ~ 0.3mm 纸片或软性衬垫，这样可以使砂轮受力均匀，紧固可靠 4）接长轴端面要平整，与砂轮接触面不能太小 5）紧固螺钉的承压端面与螺纹要垂直。螺钉的螺旋方向应与砂轮旋转方向相反

（续）

安装方法	图　　示	应注意的问题
用粘结剂紧固		1）直径 ϕ15mm 以下的小砂轮，常用粘结剂紧固 2）砂轮内孔与接长轴的配合间隙要适当，一般应为 0.2～0.3mm。接长轴外圆表面应粗糙或压成网纹状 3）常用的粘结剂是用磷酸溶液（H_3PO_4）和氧化铜（CuO）粉末调配而成的一种糊状混合物。粘接时，粘结剂应涂满砂轮与接长轴外圆之间的间隙，待自然干燥或烘干，冷却 5min 左右即可

（3）砂轮接长轴　在内圆磨床或万能外圆磨床上都使用接长轴安装砂轮。常用的磨内圆砂轮接长轴形式如图 8-6 所示，各类接长轴可以按经常被磨孔的孔径和长度配制成不同规格，以备应用。

接长轴在自行制作时，应注意以下几点：

1）接长轴材料常用 40Cr 钢，为提高刚性可采用 W18Cr4V 高速钢。

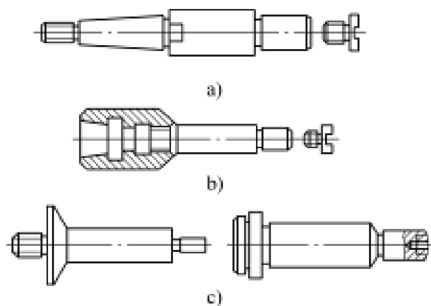


图 8-6　磨内圆砂轮接长轴的形式

a）锥柄接长轴　b）锥孔接长轴

c）圆柱柄接长轴

2）保证接长轴上各段外圆与锥面的同轴度。接长轴锥面与磨床主轴锥面配合精度要高，一般接长轴外锥为莫氏或 1∶20 锥体，其配合面积不小于 85%。

3）接长轴上螺纹旋向应与砂轮旋向相反。

4）在保证加工需要的情况下，为提高刚性，接长轴伸出磨头主轴外的杆身长度，应尽可能短，其直径大小则取决于采用砂轮的尺寸。

5）接长轴上应加工出削扁部位，便于装拆时使用。

（4）内圆砂轮的修整　在内圆磨削过程中，要及时修整砂轮，使砂轮经常保持锋利状态。

内圆砂轮通常用金刚石笔进行修整，修整用的金刚石笔尖必须锋利，笔尖的位置要顺着砂轮旋转方向向下偏移 1～1.5mm，且金刚石笔轴线要与砂轮水平中心线成 12°～

15°夹角（图8-7）。

修整直径较小的砂轮，应将主轴缩短，以增强接长轴的刚性，确保修出正确形状的砂轮。

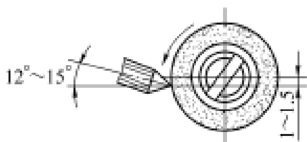


图8-7　内圆砂轮的修整

当修整新安装的内圆砂轮时，可先用碳化硅砂轮的碎块对砂轮做粗略的修整，这样可以避免砂轮与接长轴因同轴度误差而引起的砂轮跳动，保证砂轮用金刚石笔修整时的平稳性。用砂轮碎块修整时应注意安全操作，砂轮旋转时用点动法。

8.4.3　内圆磨削砂轮速度选择（表8-13）

8.4.4　内圆磨削余量的合理选择（表8-14）

表8-13　内圆磨削砂轮速度选择

砂轮直径/mm	<8	9~12	13~18	19~22	23~25	26~30	31~33	34~41	42~49	>50
磨钢、铸铁时速度/(m/s)	10	14	18	20	21	23	24	26	27	30

表8-14　内圆磨削余量的合理选择

（单位：mm）

孔径范围	余量限度	磨削前								粗磨后精磨前
		未经淬火的孔				经淬火的孔				
		孔长								
		50以下	50~100	100~200	200~300	50以下	50~100	100~200	200~300	
≤10	max	—	—	—	—	—	—	—	—	0.020
	min	—	—	—	—	—	—	—	—	0.015
11~18	max	0.22	0.25	—	—	0.25	0.28	—	—	0.030
	min	0.12	0.13	—	—	0.15	0.18	—	—	0.020
19~30	max	0.28	0.28	—	—	0.30	0.30	0.35	—	0.040
	min	0.15	0.15	—	—	0.18	0.22	0.25	—	0.030

（续）

孔径范围	余量限度	磨削前								粗磨后精磨前
		未经淬火的孔				经淬火的孔				
		孔长								
		50以下	50～100	100～200	200～300	50以下	50～100	100～200	200～300	
31～50	max	0.30	0.30	0.35	—	0.35	0.35	0.40	—	0.050
	min	0.15	0.15	0.20	—	0.20	0.25	0.28	—	0.040
51～80	max	0.30	0.32	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.50	0.060
	min	0.15	0.18	0.20	0.25	0.25	0.28	0.30	0.35	0.040
81～120	max	0.37	0.40	0.45	0.50	0.50	0.50	0.55	0.60	0.070
	min	0.20	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.35	0.40	0.050
121～180	max	0.40	0.42	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.080
	min	0.25	0.25	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.060
181～260	max	0.45	0.48	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.090
	min	0.25	0.28	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.065

注：表中推荐的数据，适合成批生产，要求有完整的工艺装备和合理的工艺规程，可根据具体情况选用。

8.5 圆锥面磨削

8.5.1 圆锥面的磨削方法

磨削圆锥面时，一般要使工件旋转轴线相对于工作台运动方向偏斜一个圆锥半角。即圆锥母线与圆锥轴线之间的夹角（$\alpha/2$）。这是外圆锥磨削和内圆锥磨削共同的特点。

（1）外圆锥面的磨削　外圆锥面一般在外圆磨床或万能外圆磨床上磨削，根据工件形状和锥（角）度的大小不同，采用不同的方法。外圆锥面磨削的几种方法见表8-15。

（2）内圆锥面的磨削　内圆锥面一般在内圆磨床或万能外圆磨床上磨削。磨内圆锥的原理与磨外圆锥的原理相同。圆锥面磨削的几种方法见表8-16。

表 8-15　外圆锥面磨削的几种方法

磨削方法	图　　示	说　　明
转动工作台磨外圆锥面		这种方法适用于锥度不大的外圆锥面。磨削时，把工件装夹在两顶尖之间，将上工作台相对下工作台逆时针转过 $\alpha/2$（工件圆锥半角）即可 磨削时，一般采用纵磨法。工作台转动角度时，应按工作台右端标尺上的刻度（标尺右边的刻度为锥度，左边为相应的角度），但按刻度转动角度，并不十分精确，必须经试磨后再进行调整 在顶尖距为 1m 的外圆磨床上，工作台回转角度逆时针一般为 6°～9°，顺时针为 3°。因此，用这种方法只能磨削圆锥角小于 12°～18°的外圆锥 这种方法工件装夹简单，机床调整方便，精度容易保证

（续）

磨削方法	图　　示	说　　明
转动头架磨外圆锥面		当工件的圆锥半角超过上工作台所能回转的角度时，可采用转动头架的方法来磨削外圆锥面。此法是把工件装夹在头架卡盘中，将头架逆时针转过 $\alpha/2$（工件圆锥半角）即可。角度值可从头架下面底座刻度盘上确定。但是，头架刻度并不十分精确，必须经试磨后再进行调整

（续）

磨削方法	图　　示	说　　明
同时转动工作台和头架磨外圆锥面		当采用转动头架磨外圆锥面时，有时遇到工件伸出较长，或外圆锥较大，砂轮架已退到极限位置，工件与砂轮相碰不能磨削，如果距离相差又不多时，可采用这种方法，即把上工作台逆时针偏移一个角度 β_2，这样使头架转动角度比原来小些。这样工件相对就退出了一些。这时头架转动的角度 β_1 与工作台转过的角度 β_2 之和应等于 $\alpha/2$（工件圆锥半角）

（续）

磨削方法	图　　示	说　　明
转动砂轮架磨外圆锥面		这种方法适用于磨削锥度较大而又较长的工件。这种方法砂轮架应转过 $\alpha/2$（工件圆锥半角），磨削时必须注意工作台不能做纵向进给，只能用砂轮的横向进给来进行磨削。当工件圆锥母线长度大于砂轮的宽度时，只能用分段接刀的方法进行磨削 修整砂轮时必须将砂轮架转回到“零位”，这样来回调整比较麻烦。而且磨削时工作台不能纵向运动，这样会影响加工精度和表面粗糙度值，所以一般情况下很少采用

表 8-16　内圆锥面磨削的几种方法

磨削方法	图　　示	说　　明
转动工作台磨内圆锥面		将工作台转过 $\alpha/2$（工件圆锥半角）。工作台做纵向往复运动，砂轮做横向进给 这种方法仅限于磨削圆锥角小于 18°（因受工作台转角的限制），且较长的内圆锥
转动头架磨内圆锥面		将头架转过 $\alpha/2$（工件圆锥半角）。工作台做纵向往复运动，砂轮做微量横向进给 这种方法适用于锥度较大、长度较短的内圆锥
		若工件两端有左右对称的内圆锥时，先把外端内圆锥面磨削正确，不变动头架的角度，将内圆砂轮摇向对面，再磨削里面一个内圆锥。这样可以保证两内圆锥的同轴度

8.5.2　圆锥面的精度检验

工件在磨削时和加工完成后都要进行精度检验，圆锥面的精度检验包括锥度（或角度）的检验和圆锥尺寸的检验。

锥度或角度的精度通常可用游标万能角度尺、角度样板、正弦规和圆锥量规等量具量仪来测量检验。

其中圆锥量规（图 8-8），它除了有一个精确的圆锥形表面外，在塞规和套规上分别具有一个台阶 a（或刻线 m）。台阶（或刻线）距离就是检验工件圆锥大端和小端直径的公差范围。

当锥度已磨准确，检验工件时，工件端面在锥度量规台阶（或刻线）之间才算合格，如图 8-9 所示。这种检验方法在工厂俗称综合测量方法。

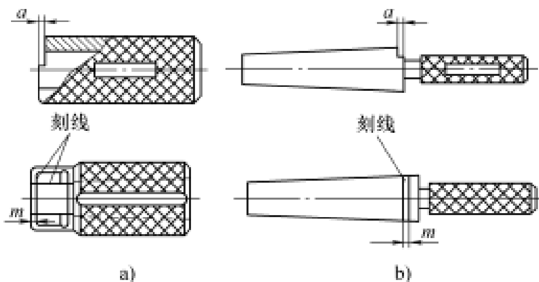


图 8-8　圆锥量规

a）圆锥套规　b）圆锥塞规

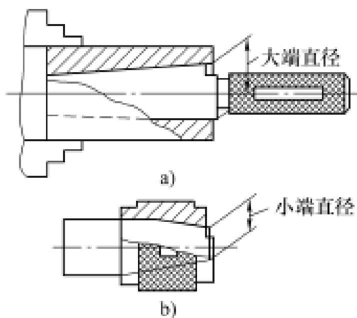


图 8-9　用锥度量规测量

a）测量锥孔　b）测量外锥体

8.6　平面磨削

在平面磨床上磨削平面，尺寸公差等级一般可达 IT7 ~ IT6，表面粗糙度为 *Ra*0.63 ~0.16μm。精密平面磨床磨削表面粗糙度可达 *Ra*0.1μm，平行度误差在 1000nm 长度内为 0.01mm。.

8.6.1　工件的装夹方法（表 8-17）

表 8-17　工件的装夹方法

装夹方法	图　　示	说　　明
在磨床台面上装夹	底座T型槽	卸去台面上的磁盘，用螺钉把工件固定在台面上进行磨削，这种方法适用于工件较高而被磨平面宽度不大时使用
用精密平口钳装夹		精密平口钳上各面之间均具有很高的垂直度或平行度。各面之间的角度为 90° ± 30″。因此，工件一次装夹后，通过翻转精密平口钳，可以磨出互相垂直的基准面。这种方法适用于小型精密工件的磨削

（续）

装夹方法	图　　示	说　　明
用精密角铁装夹		精密角铁由铸铁制成，角铁上两相互垂直的工作平面经过刮研加工，它们之间的垂直度误差很小，工作平面上有T形槽或通孔，用来装螺钉夹紧工件 工件装夹在精密角铁上通过找正可以磨削各种斜面和垂直平面
用精密V形块装夹		精密V形块由V形块、弓架、夹紧螺钉组成。V形块的侧面、端面与底面相互垂直、V形槽用标准圆柱心轴检验时，其轴线也垂直于V形块的端面，所以能保证圆柱体端面与外圆垂直 磨削圆柱形工件上的端面及相互垂直的平面，可采用这种方法装夹工件

（续）

装夹方法	图　　示	说　　明
用正弦精密平口钳装夹	1—底座　2、4—正弦圆柱 3—旋紧螺钉　5—量块组 6—撑条	正弦精密平口钳由带精密平口钳的正弦规与底座组成 将工件夹紧在精密平口钳中，在正弦圆柱4和底座1的定位面之间垫入量块组5，使正弦规连同工件一起倾斜成需要的角度。磨削时，正弦圆柱2需要用锁紧装置紧固在底座的定位面上，同时旋紧螺钉3，以便通过撑条6把正弦规紧固。这种夹具最大的倾斜角度为45°

（续）

装夹方法	图　　示	说　　明
用电磁（或永磁）吸盘装夹	a) 工件 b)	电磁（永磁）吸盘的外形有矩形和圆形两种，分别用于矩形工件台平面磨床和圆形工作台平面磨床装夹时，工件定位表面盖住绝缘磁层条应尽可能多，以便充分利用磁性吸力。小而薄的工件（图a）应放在绝缘磁层中间，并在其左右放置低于工件厚度而面积较大的挡板，以防止在磨削时工件松动 装夹高度较高而定位面积较小的工件时（图b），应在工件四周放上低于工件厚度而面积较大的挡板，以防止在磨削时工件松动

（续）

装夹方法	图　　示	说　　明
用正弦电磁吸盘装夹		正弦电磁吸盘由带电磁吸盘的正弦规与底座组成。夹具最大的倾斜角度为45°，适用于磨削扁平的零件
用专用夹具		此例是采用侧面压紧磨削长条薄形工件。由于工件侧面宽度方向刚度大，工件不会产生夹紧变形
用组合夹具装夹	K　平压板　菱形定位销　宽板　紧固支承　角度支承　K	图示为由组合夹具角度支承组成的磨斜平面夹具

8.6.2　平面磨削砂轮的选择（表8-18）

表8-18　平面磨削砂轮的选择

工件材料		非淬火的碳素钢	调质的合金钢	淬火的碳素钢、合金钢	铸铁
砂轮的特性	磨料	A	A	WA	C
	粒度	F36~F46	F36~F46	F36~F46	F36~F46
	硬度	L~N	K~M	J~K	K~M
	组织	5~6	5~6	5~6	5~6
	结合剂	V	V	V	V

8.6.3　平面磨削砂轮速度选择（表8-19）

表8-19　平面磨削砂轮速度选择

磨削形式	工件材料	粗磨时砂轮速度/(m/s)	精磨时砂轮速度/(m/s)
圆周磨削	灰铸铁	20~22	22~25
	钢	22~25	25~30
端面磨削	灰铸铁	15~18	18~20
	钢	18~20	20~25

8.6.4 平面磨削余量的合理选择（表8-20）

表8-20 平面磨削余量的合理选择

（单位：mm）

加工性质	加工面长度	加工面宽度					
		≤100		>100～300		>300～1000	
		余量	公差	余量	公差	余量	公差
零件在装置时未经校准	≤300	0.3	0.1	0.4	0.12	—	—
	>300～1000	0.4	0.12	0.5	0.15	0.6	0.15
	>1000～2000	0.5	0.15	0.6	0.15	0.7	0.15
零件装置在夹具中或用千分表校准	≤300	0.2	0.1	0.25	0.12	—	—
	>300～1000	0.25	0.12	0.3	0.15	0.4	0.15
	>1000～2000	0.3	0.15	0.4	0.15	0.4	0.15

注：1. 表中数值为每一加工面的加工余量。

2. 如几个零件同时加工时，长度及宽度为装置在一起的各零件尺寸（长度或宽度）及各零件间的间隙之总和。

3. 热处理后的零件磨削的加工余量是将表中数值乘以1.2。

4. 磨削的加工余量和公差用于有公差的表面的加工，其他尺寸按照自由尺寸的公差进行加工。

第 9 章　镗 工 技 术

镗削加工是用镗刀在镗床上加工孔和孔系的一种加工方法。镗削时，工件装夹在工作台上，镗刀安装在镗刀杆上并做旋转的主运动，进给运动由镗轴的轴向移动或工作台的移动来实现。

镗削可以加工机座、箱体、支架等外形复杂的大型零件上的直径较大的孔，以及有位置精度要求的孔和孔系。除此之外，还可以钻孔、扩孔和铰孔及铣平面，以及在卧式铣镗床的平旋盘上安装车刀车削端面、短圆柱面及内外螺纹等。

镗削加工能获得较高的精度和较小的表面粗糙度值。

卧式镗床的加工精度见表 9-1。

表 9-1　卧式镗床的加工精度

加工方式	加工精度/mm		表面粗糙度 Ra/μm		
	孔径公差	孔距偏差	铸铁	钢（铸钢）	铜铝及其合金
粗镗	H12 ~ H10	±(0.5 ~ 1.0)	25 ~ 12.5	25	25 ~ 12.5
半精镗	H9 ~ H8	±(0.1 ~ 0.3)	12.5 ~ 6.3	25 ~ 12.5	12.5 ~ 6.3

（续）

加工方式	加工精度/mm		表面粗糙度 Ra/μm		
	孔径公差	孔距偏差	铸铁	钢（铸钢）	铜铝及其合金
精镗	H8 ~ H6①	±（0.02 ~ 0.05）	3.2 ~1.6	6.3 ~1.6	3.2 ~0.8
铰孔	H9 ~ H7	±（0.02 ~ 0.05）	3.2 ~1.6	3.2 ~1.6	3.2 ~0.8

① 当加工精度为 H6 及表面粗糙度 Ra 为 0.8μm 以上的孔时，需采取相应措施。

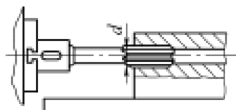
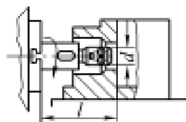
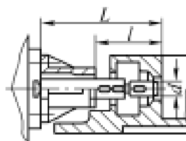
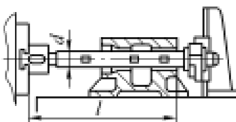
注：镗削加工方式一般有卧式镗床镗削、坐标镗床镗削和精镗床加工三种。本章所讨论的主题是卧式镗床的镗削技术。

9.1 卧式镗床基本工作范围（表 9-2）

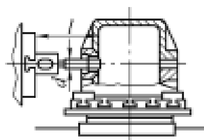
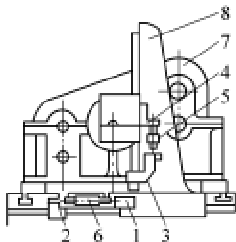
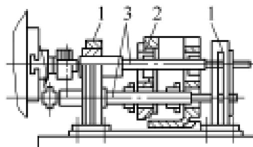
表 9-2 卧式镗床基本工作范围

麻花钻钻孔	
整体或套式扩孔钻扩孔	

（续）

整体或套式铰刀铰孔	
单面镗孔（不用导向支承）	 用于 $l<5d$
单面镗孔（在花盘安装支承）	 用于 $l<5d\sim6d$ 及 $L>5d\sim6d$
利用后支承架支承镗刀杆进行镗孔	 用于 $l>5d\sim6d$

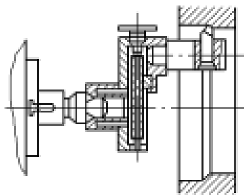
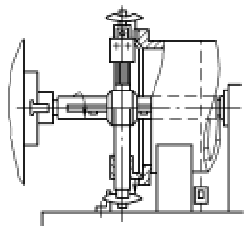
（续）

调头镗孔	 用于 $l<5d\sim6d$ 并配有回转工作台
用坐标法镗孔	 1、4—活动定位块　2、3—固定定位块　5、6—内径规 7—工件　8—镗床立柱
用镗模镗孔	 1—镗模　2—工件　3—镗刀杆

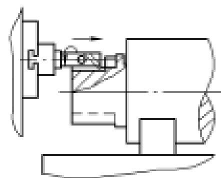
（续）

锪端面	用于加工余量和直径 *D* 不大的工件
车端面	用于加工余量较大的工件
铣端面	用于加工端面余量很大的工件
用径向刀架车槽	用于备有径向刀架的镗床

（续）

用飞刀架车内圆	 用于加工孔不深的工件
用飞刀架车端面	 用于加工两端要求平行的端面

（续）

车半圆槽	

9.2　卧式镗床基本定位方法

1. 主轴轴线与镗孔轴线重合方法（表 9-3）

2. 主轴轴线与后立柱刀杆支架轴线重合方法

在镗削较深孔时，镗刀杆和主轴需要伸出较大的长度才能进行加工。为保证加工工艺系统刚度，需要将镗刀杆支承在后立柱刀杆支架上，即把悬伸镗削变为支承镗削。

这种支承镗削，只有在主轴轴线与所镗孔轴线重合（即完成镗刀杆定坐标）之后，才可找准后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线的重合位置。

在加工轴线分布较复杂的孔系时，可用两种方法找准刀杆支架轴线与主轴轴线的重合度。

第一，在加工第一条轴线上的孔后，用直接找准法。

第二，加工其余各条轴线的孔，则用间接找准法。间接找准法又分为垂直轴剖面内间接找准法与水平轴剖面内间接找准法两种。

主轴轴线与后立柱刀杆支架轴线重合方法举例见表 9-4。

表 9-3　主轴轴线与镗孔轴线重合方法

类别	定位方式	简　　图	定位精度/mm	特点和适用范围
机床坐标定位	游标卡尺定位		±0.08	机床上的游标卡尺，尺身标尺间距为 1mm，游标标尺间距为 1/20mm，分度值为 0.05mm，装有放大镜。适用于一般定位精度

（续）

类别	定位方式	简　　图	定位精度/mm	特点和适用范围
机床坐标定位	百分表、量块定位	x方向 y方向	±0.03	用百分表、量块进行测量定位。万能性强，操作难度大，辅助时间长，是卧式镗床采用的基本定位方式

（续）

类别	定位方式	简　图	定位精度/mm	特点和适用范围
工艺定位	顶尖找正定位		±0.3	先找好工件的水平和垂直位置，然后用安装在主轴孔中的顶尖找孔中心。适用于单件生产
	划针找正定位		±0.5	在主轴上装一划针，转动主轴，使划针对准工件上两对平行线与中心线的四个交点即可。适用于单件生产
	孔距测量定位		±0.03	用心轴、量具测量定位，镗好一孔后，利用该孔直接测量另一孔的距离，此方法直观、准确。适用于单件小批生产

（续）

类别	定位方式	简　　图	定位精度/mm	特点和适用范围
工艺定位	按模板找正定位		±0.02	利用心轴使主轴轴线与模板上的导套孔轴线对准，也可用百分表找正，定位可靠，但要求有一定的操作经验。适用于批量生产
	夹具定位		±0.02	工件孔位置精度靠夹具保证，主轴与镗杆一般采用浮动连接，加工前只要将夹具位置安装准确即可。适用于大中批生产

表 9-4　主轴轴线与后立柱刀杆支架轴线重合方法举例

类别	方式	简图	说明
直接找准法	用镗床主轴和刀杆直接找准的方法	1—主轴　2—刀杆（或心轴） 3—百分表测量装置	用这种方法，能使镗床后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线在水平轴剖面内，具有较高的同轴度。但是随着主轴和刀杆单臂悬伸长度增加，其挠度（弯曲变形）增大，因而，降低了后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线在垂直轴剖面内的同轴度。为减小这种挠度造成的误差，一般应采用最短的刀杆（或心轴），以全部利用主轴的伸出长度。采用特制的空心心轴，并保证心轴锥柄与主轴锥孔配合的精度

（续）

类别	方式	简图	说明
间接找准法	在垂直剖面内间接找准法		这种方法是用内径百分尺或高度游标卡尺，在垂直轴剖面内来找准后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线重合度的 先在镗刀杆的一端（靠近主轴）测量出 H_1 或 H_2 尺寸［H 为镗刀杆轴线到工作台面（或底板）的距离］，然后在镗刀杆的另一端（靠近刀杆支架）测量 H_1' 或 H_2' 的尺寸。根据所测得的两端尺寸用下列公式计算： $$H=H_1+\frac{d}{2},\ H=H_1'+\frac{d}{2}$$ 或 $$H=H_2-\frac{d}{2},\ H=H_2'-\frac{d}{2}$$ 最终要使两端所测尺寸一致

（续）

类别	方式	简　　图	说　　明
间接找准法	在水平剖面内间接找准法		这种方法主要用于同平面的平行孔系第二个孔和其余各孔轴线的定坐标。由于第一个孔已加工完，因此后立柱刀杆支架轴线已与主轴轴线同轴。在加工第二个孔和其余各孔时，不须再定垂直轴剖面内的坐标（高度坐标）。只要用检验棒确定镗刀杆轴线在水平轴剖面（侧向位置）内的坐标即可 测量调整两端 L（两孔中心距离）值相等： $L=L_1-\frac{d_1}{2}-\frac{d_2}{2}$或$L=L_2+\frac{d_1}{2}+\frac{d_2}{2}$

9.3　导向装置布置的形式与特点（表9-5）

表9-5　导向装置布置的形式与特点

形式	简　　图	特　　点
单面前导向		适用于 $D>60$mm、$l<D$ 的通孔，因为 $d<D$，换刀方便，加工不同直径的孔时，不用更换镗刀套。$h=(0.5\sim1)D$，以便排屑
单面后导向		适用于加工 $l<D$，且孔距精度要求高的孔，镗刀杆刚性好，换刀时不用更换镗刀套（卧镗 $h=60\sim100$mm，立镗 $h=20\sim40$mm）
		因为 $d<D$，所以在加工 $l>D$ 的长孔时，镗刀杆能进入被加工孔中，镗刀杆的悬伸量短，有利于缩短镗刀杆长度（卧镗 $h=60\sim100$mm，立镗 $h=20\sim40$mm）

（续）

形式	简　　图	特　　点
单面双导向		镗刀杆与机床主轴浮动连接，可减小机床主轴精度对工件精度的影响。更换镗刀杆和装卸刀具方便，$L \geqslant (1.5 \sim 5) l$，$H_1 = H_2 = (1 \sim 1.2) D$
双面单导向		适用于镗制 $l > 1.5D$，且在同一轴线上有两个以上的孔，能精确地保证各孔之间的同轴度，但两导向支架间距 L 应控制在 $10d$ 左右

（续）

形式	简　　图	特　　点
中间导向	导向 导向 导向	工件在同一轴线上有两个以上的孔，且镗刀杆支承距离 $L>10d$ 时，应考虑增加一个中间导向装置。图示装置为立置，适用于安装面敞开的工件
	导向 导向 导向	条件基本同上。图示装置为悬置，适用于安装面封闭的工件

9.4 工件定位基准及定位方法（表9-6）

表9-6 工件定位基准及定位方法

定位基准	简图	方法说明
工件未经加工	角铁 3 2 1 垫铁 楔铁	工件未经加工，工件安装在镗床上配置的垫铁和角铁上，可用楔铁调整按划线1、2、3进行找正
工件用一个已加工面作为定位基准	A 垫铁	工件将已加工的底平面安装在镗床上配置的长条垫铁上，按划线*A*进行找正

（续）

定位基准	简　图	方法说明
工件用直径相同的两个轴颈作为定位基准		工件装在固定的V形块上，首件加工时需找正V形块，以后各件加工不须找正
工件用直径不相同的两个轴颈作为定位基准	可调V形块	工件用前、后两个不同的轴颈作定位基准，将该轴颈安装在可调整的V形块上，按划线进行找正。如定位精度要求较高，也可用百分表测上素线和侧素线进行找正

（续）

定位基准	简图	方法说明
工件用两个已加工面作为定位基准	角铁 垫铁	将配置在镗床上的垫铁和角铁预先找正好，然后将工件两个已加工面作为基准，安装在垫铁上，并紧靠角铁即可
工件用一个已加工面及两个定位孔作为定位基准	圆柱销 底板 菱形销	将镗床上配置的带有两个定位销的底板（即夹具），预先找正好，然后将工件的一个已加工面和两个相应的定位孔作为基准，装到夹具上即可

（续）

定位基准	简图	方法说明
工件用一个已加工面及已镗好的通孔作为定位基准	心轴 衬套 百分表	在没有配置精密回转工作台的镗床上加工垂直孔，可按已镗好的两个孔作为定位基准，穿入心轴，用百分表找正工件位置，以保证两孔轴线垂直
工件用 V 形导轨面和平导轨面为定位基准		这种方法多用于箱体工件，选用装配基准面作定位基准，这样可以减少或避免因定位基准的转换而引起的误差，因此定位可靠，精度高

（续）

定位基准	简　　图	方法说明
工件用平面与燕尾导轨面作为定位基准		这种方法多用于箱体工件，选用装配基准面作定位基准，这种方法定位可消除燕尾导轨的角度误差引起的定位误差

9.5　镗削基本类型及加工精度分析

在卧式镗床上镗削加工，有两种基本类型。一种是用端镗刀杆的悬伸镗削；另一种是用后立柱刀杆支架或中间支承架支承镗刀杆的镗削。这两种镗削按进给方式又分为主轴送进的镗削与工作台送进的镗削。

1. 悬伸镗削基本方式及加工精度分析（表9-7）

2. 支承镗削基本方式及加工精度分析（表9-8）

表 9-7　悬伸镗削基本方式及加工精度分析

镗削方式	简　图	精 度 分 析
工作台送进；加工同轴孔系时，主轴和镗刀杆的悬伸长度不变；镗刀杆不用导向套		1）孔系轴线的直线度，取决于工作台纵向送进方向的直线度大小 2）主轴和镗刀杆在自重和切削力作用下，产生的挠度改变了镗刀的坐标位置（镗刀下垂），从而改变了孔轴线的坐标位置。但是，由于工作台做送进运动，因此不论工作台移动到任何位置，这种改变都不会使孔轴线弯曲，因而，这种改变是一定的 3）孔的圆柱度与床身导轨和主轴轴线的相对位置精度无关，故镗出的孔径是一定的 4）由于镗刀杆只固定了一端，刀具系统刚度较低，因此这种加工方式特别适用于镗浅孔

（续）

镗削方式	简　　图	精度分析
工作台送进；主轴悬伸量一定，但镗同一轴线上的各孔时，所用镗刀杆长度不同（第一孔加工后，将短刀杆换成长刀杆），镗刀杆不用导向套	工作台 工作台	1）若工作台导轨是直的，那么镗出各孔的轴线也是直的 2）主轴悬伸长度一定，因此其挠度一定，即主轴对孔系轴线直线度的影响是一定的 3）镗第二孔时，由于换了长刀杆，因此其挠度比镗第一孔时所用的短刀杆挠度大，这样，使同一轴线各孔的同轴度误差增大 4）虽然长、短刀杆的挠度不同，但这两个镗刀杆上的镗刀相对于工作台的进给运动的坐标位置（下垂量）是一致的，即各自挠度是一定的，也就是说，各自的刚度不变，因此，不会影响每个孔轴线的直线度，同时也不影响每个孔的圆柱度 5）这种加工方式镗第一孔时，采用了刚度较大的短刀杆，因此，可用较大的切削用量，其生产率较高；镗第二孔时由于使用了长刀杆，因此，其生产率（比镗第一孔时）降低 6）适用于加工轴线同轴度要求不太高且较浅的同轴孔系

（续）

镗削方式	简图	精度分析
工作台送进；主轴的悬伸长度一定，但镗同一轴线上的各孔时，所用的镗刀杆长度不同（第一孔加工后，将短刀杆换为长刀杆），从加工第二孔开始，在先前加工过的孔内，安装镗刀杆的导向套	工作台 工作台	1）如果工作台导轨是直的，那么，第一孔轴线也是直的 2）第二孔轴线的直线度，不但取决于工作台导轨的直线度，而且还取决于长刀杆的直线度。因为，镗刀杆在导向套内做轴向移动时，镗刀运动轨迹重复了镗刀杆的曲线形状，从而使孔轴线随之产生了直线度误差。另外，孔轴线的直线度，还取决于镗刀杆从导向套端面算起的悬伸长度、镗刀杆与导向套的间隙大小、镗刀杆在主轴上的夹持刚度等。按这种方式加工，为保证加工精度，则需要很精密的镗刀杆 3）镗第二孔时，镗刀随着镗刀杆悬伸长度的增加，其刚度随之变坏，镗刀在不同加工位置上的切削变形也不同。镗刀在开始镗孔的位置上，孔的变形误差最小，但镗到孔末端时，孔的变形误差为最大。这种变形误差往往使孔口前端小、后端大 4）采用导向套，除增加刀具系统刚度外，还起消振作用，从而能提高生产率 5）这种加工方式适用于轴线同轴度要求较高的孔系

（续）

镗削方式	简　　图	精 度 分 析
主轴送进；镗同轴孔系时，镗刀杆的长度一定，镗刀杆不用导向套		1）在切削力作用下，孔的直径尺寸精度、形状精度，随主轴悬伸长度的增加和主轴刚度的下降而降低 2）主轴因本身质量产生的挠度，随主轴悬伸长度增加而增大，因此，增大了孔系轴线的直线度误差 3）被加工孔直径比主轴直径小时，只好采用细长镗刀杆。因而，工件不得不装在离主轴端面远些的位置（至少要等于镗刀杆长度的位置）。镗削时，随着主轴送进、主轴和镗刀杆悬伸长度的不断增加，刀具系统刚度变得越来越差，降低了镗削精度。这种加工方式的不利因素较多，因此在一般情况下采用较少。它只用于工作台不能做纵向移动或没有工作台的镗床上镗孔

（续）

镗削方式	简　　图	精 度 分 析
主轴送进；镗同一轴线上的各孔时，所用的镗刀杆长度不同（第一孔加工后，将短刀杆换成长刀杆再加工第二孔），镗刀杆不用导向套		这种方式主要用于工作台不能作纵向移动的镗床，或没有工作台的镗床上镗孔。这种镗孔方式对加工精度的影响，虽然与上一种方式基本相同，但由于其刀具系统刚度较高，因此它的加工精度和生产率都比上一种方式高

（续）

镗削方式	简　　图	精度分析
主轴送进；镗同一轴线上各孔时，所用的镗刀杆长度不同（第一孔加工后，将短刀杆换成长刀杆），从第二孔开始，在已加工过的孔内装上导向套	工作台 工作台	这种加工方式由于增加了镗刀杆导向套，与上一种加工方式相比，其刀具系统刚度较大、抗振性较好，因此，这种方式镗孔精度较高

表 9-8　支承镗削基本方式及加工精度分析

镗削方式	简　　图	精度分析
工作台送进，加工同轴孔系时，镗刀杆长度一定		1）这种镗孔方式使用的镗刀杆长度一般是工件长度的 2 倍，但镗刀杆刚度比悬伸镗削方式刚度大，这种方式镗刀杆挠度是悬伸镗削方式镗刀杆的 1/2 2）由于工作台送进，镗刀杆在轴向内固定不动。这样镗刀杆的形状误差、后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线的重合度误差对镗孔精度的影响是不大的。虽然镗刀杆的弯曲影响镗刀的径向位置，但这种影响在孔的全长上是一样的 3）这种镗孔方式比悬伸镗削方式更适合于加工精度较高、较深的孔系

（续）

镗削方式	简　　图	精度分析
工作台送进；加工同轴孔系时，只用一根镗刀杆，并且在镗刀杆的不同部位上安装镗刀		这种加工方式所使用的镗刀杆在不同的部位上安装镗刀，因此，镗刀杆长度大大缩短了（比工件长度大一些就可以了）。这种镗孔方式的镗刀杆刚度比上一种镗孔方式的镗刀杆刚度还大，所以更适合加工较深的孔系。这种方法生产率较高，应用较广泛 缺点是由于镗刀杆在各点上的挠度不同，镗刀杆上不同部位的镗刀径向圆跳动也不同，因此，加工出的孔系轴线有一些弯曲

（续）

镗削方式	简　　图	精度分析
主轴送进，随着主轴伸出长度的增加，使镗刀杆的工作长度相对缩短（一部分工作长度悬伸出后立柱支架）		1）这种镗孔方式的刀具系统刚度比前面几种镗孔方式的刀具系统刚度大得多，而且引起振动的可能性很小。因此，可用宽切削刃镗孔，并可同时用几把刀镗削，适用于细长同轴孔系的加工，其生产率较高 2）镗刀杆因本身质量引起的挠度，使镗刀产生径向圆跳动，其跳动的大小和镗刀所在的位置有关。镗刀在两支承中间时，跳动最大，当逐渐移向支承架时，跳动随之减少，移至支承处，跳动为零，这样使孔系轴线产生弯曲 3）在切削力的作用下，镗刀杆各处产生的挠度是不同的。因此，不同位置上的镗刀其径向圆跳动也不同，结果使同一次调整好的镗刀镗出的孔径不一样。一般，镗刀杆支承处的孔径要大一些 4）加工出的孔径虽有变化，但孔是圆的。直径误差的大小取决于切削力的大小 5）如果镗刀杆精度高，中间支架及后立柱刀杆支架轴线调整准确，轴承间隙相当，就可以提高孔系轴线的直线度精度

9.6 镗削加工基本方法

9.6.1 镗刀安装与对刀

1. 单刃镗刀的装夹方式及用途（表 9-9）

表 9-9 单刃镗刀的装夹方式及用途

装夹方式	用途
	用于镗通孔
	用于镗通孔
	用于镗阶梯孔
	用于镗不通孔

2. 镗刀块的安装

镗刀块与镗刀杆的安装应成垂直状态。镗刀块与镗刀杆矩形孔的配合精度一般为 H7/h6 或 H7/g6，镗刀杆矩形孔对轴线的垂直度和对称度应小于 0.01mm，表面粗糙度 *Ra* 为 0.4 ~ 0.2μm。镗刀块各面平行度一般控制在 0.005mm。镗杆矩形孔的精度要求如图 9-1 所示，镗刀块在镗刀杆上的安装位置如图 9-2 所示。

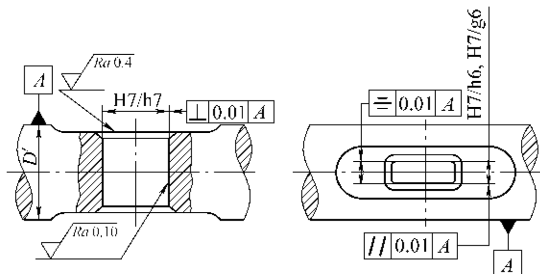


图 9-1　镗刀杆矩形孔的精度要求

3. 对刀

对刀（即校正刀尖伸出量），可用对刀表座（图 9-3）。表座是一 V 形体，以 V 形面放置在镗轴上，用百分表的测量头顶在刀夹上，调整百分表零位，通过敲刀头来测量调整刀尖尺寸位置。对刀时应注意 V 形基准面要紧贴在镗刀杆，不能倾斜测量，百分表测量头不可与刀尖剧烈摩擦。

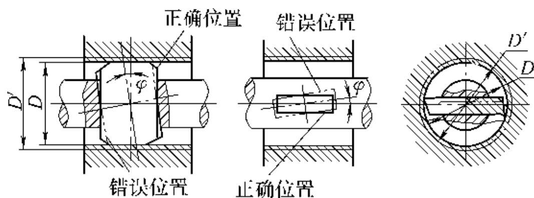


图 9-2　镗刀块在镗杆上的安装位置

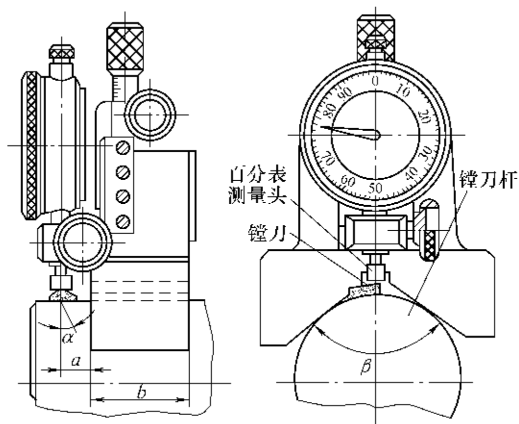


图 9-3　对刀表座

9.6.2　粗镗、精镗

粗镗主要是对工件的毛坯孔（铸造孔）或对钻、扩

后的孔进行初加工。即采用较大的镗削用量（主要是背吃刀量 a_p 和进给量 f）切除工件表面不规则的硬层部分，为下一步半精镗、精镗加工达到要求奠定基础。

粗镗后一般单边留 2 ~3mm 作为半精镗和精镗孔的余量。对于精密的箱体类工件，一般粗镗后均安排回火或时效处理，以消除内应力达到自然状态，最后再进行精镗。这时的精加工余量应根据毛坯精度和工件精度来确定。

采用单刃镗刀进行粗镗时，镗刀的几何角度，推荐选用前角 $\gamma_o = 5° \sim 10°$，后角 $\alpha_o = 3° \sim 8°$，主偏角 $\kappa_r = 60°$，副偏角 $\kappa_r' = 10° \sim 15°$，刃倾角 $\lambda_s = 0° \sim 4°$。

半精镗是精镗的预备工序，主要是解决粗镗留下的余量不均匀部分。半精镗后一般留精镗余量为0.3 ~ 0.4mm（单边），对精度要求不高的孔可直接精镗，不必增加半精镗工序。

精镗的目的是保证镗削孔的尺寸精度，孔的形状精度及较小的表面粗糙度。精镗是以较高的切削速度、较小的进给量切去前工序较少余量，通常精镗 $a_p \geqslant$ 0.10mm，$f \geqslant$ 0.05mm/r。

采用单刃镗刀进行精镗时，镗刀的几何角度，推荐选用前角 $\gamma_o = 8° \sim 15°$，后角 $\alpha_o = 5° \sim 12°$，主偏角 $\kappa_r = 90°$，副偏角 $\kappa_r' = 0° \sim 10°$，刃倾角 $\lambda_s = -4° \sim 0°$。

铸铁件不同精度孔的典型镗削工艺方案见表 9-10。

9.6.3 基本镗削方法

1. 同轴孔系的镗削方法

通常把工件上一系列有相互位置精度要求的孔称为“孔系”。如同轴孔系、平行孔系和垂直孔系等。保证孔

表 9-10　铸铁件不同精度孔的典型镗削工艺方案

加工精度	在实体上加工	在铸孔或锻孔上加工	备　注
IT6		粗镗（双刀）、半精镗、精镗 粗镗（双刀）、精镗（双刀）	用粗、精四把镗刀的方案不很稳定
IT7	1）加工直径到 ϕ16mm：钻、铰；钻、扩、铰 2）加工直径大于 ϕ16mm：钻、扩、铰；钻、扩、粗铰、精铰	镗（双刀）、粗铰、精铰 扩（粗镗）、半精镗、精镗 粗镗、半精镗、精铰	
IT8	1）加工直径到 ϕ20mm：钻、扩、铰；钻－铰复合；钻－镗复合； 2）加工直径大于 ϕ20mm：钻、扩、铰	粗镗、精镗 粗镗、精镗（双刀） 镗（三把刀） 扩、铰	在加工壁厚不大的情况下 表面粗糙度 *Ra* 要求为 3.2μm 时 表面粗糙度 *Ra* 要求为 1.6μm 时 表面粗糙度 *Ra* 要求为 0.8μm 时
IT9、IT10	1）加工直径到 ϕ25mm：钻、扩、铰 2）加工直径大于 ϕ25mm：钻、镗 钻镗（双刀）	扩、铰 粗镗、精镗	按加工余量及表面粗糙度的要求合理选择
IT11	1）加工直径到 ϕ30mm：钻 2）加工直径大于 ϕ30mm：钻、扩；钻、铰	粗镗 粗镗、精镗	当表面粗糙度值要求较小时

系的加工精度是工件加工的关键。

孔系加工的质量将直接影响传动部件的装配精度和机械的工作性能。因此对孔系加工有一定的技术要求（以箱体工件为例）：

1）轴孔的尺寸精度和几何精度。

2）轴孔之间的孔距尺寸精度和相互位置精度（包括工件上同轴孔系的同轴度要求）。

3）主要平面的形状精度和轴孔主要平面的相互位置精度。

4）表面粗糙度。

同轴孔系就是在工件的同一轴线上有一组相同孔径或不同孔径的孔。同轴孔系镗削加工除应保证孔本身的尺寸精度和表面粗糙度要求外，最主要的技术要求还应保证各孔之间的同轴度误差。

同轴孔系的加工方法有悬伸镗削（表 9-7）、支承镗削（表 9-8）和调头镗削等。

调头镗削是先将工件一端孔镗好后，然后将工件旋转 180°，再镗另一端的孔，用这种方法镗削同心孔称为调头镗削。调头镗削中，工件旋转有两种方式（表 9-11）。

调头镗削方法的优点是，可采用短粗的镗刀杆加工，而且孔端面的环槽、外圆和端面均可一并加工出来，测量方便，能采用较高的切削速度，提高生产效率等。其缺点是工件的加工精度主要取决于镗床工作台的回转精度和工件调头后找正的误差，所以当孔中心线较短、精度要求较高时，不宜采用调头镗削方法。

2. 平行孔系的镗削加工

由若干个中心线相互平行的孔或同轴孔系所组成的一

表 9-11　调头镗削方法

镗削方法	简　　图	说　　明
转动工作台方法	Ⅱ O Ⅰ 工作台回转轴线 a)　Ⅰ Ⅱ O b)	这种方法适用于中小型工件在回转工作台装置精度高的卧式镗床上使用
工件调头重新装夹方法	找正基准面 a)　找正基准面 b)	这种方法是利用工件基准面或工艺基准面找正，使平面与镗刀杆轴线平行，镗削一孔后，工件回转180°后重新校准平面与镗刀杆轴线平行，这样可保证同轴孔系中心平行度

组孔称为平行孔系。平行孔系镗削加工中的主要问题是如何保证孔系的相互位置精度，孔与基准面的坐标位置精度，以及孔本身的尺寸、形状和位置精度。在大批量生产中，常采用镗模加工，在单件和小批量生产条件下，普遍采用坐标法加工。采用镗模加工零件的精度完全依赖于镗模的质量，采用坐标法加工时，各孔间的中心距是依靠尺寸坐标来保证的。尺寸坐标的累积误差必然会影响孔距精度，所以必须正确地选择起始孔（基准孔）和镗孔顺序，以消除或减少累积误差的产生，保证加工质量。

起始孔的选择原则是该孔既与相关基准面有位置公差要求，又与相邻孔有位置公差要求，其本身的形状公差和尺寸精度及表面粗糙度要求都比较高。这样在加工中一旦有必要时，可以它作根据重新校验机床主轴中心所在的坐标位置，防止出差错。镗孔顺序的选择主要考虑有位置公差要求的两孔要顺序连续加工。

3. 垂直孔系的镗削加工

两孔轴线处在同一平面内，并且相交成 90°夹角的孔系称为垂直孔系。垂直孔系中有垂直相交和垂直交叉两种状态，如交角为 90°的直齿锥齿轮箱体上的两孔中心线为垂直相交，蜗轮减速器箱体上安装蜗杆和蜗轮的两孔中心线为交叉。

垂直孔系加工中的主要问题是除应保证各孔自身的尺寸精度、形状精度和表面粗糙度要求外，还应保证两轴线的垂直度要求和正确确定孔轴线相对于基准平面的尺寸要求和位置要求。

垂直孔系镗削方法见表 9-12。

表 9-12　垂直孔系镗削方法

镗削方法	简　　图	说　　明
回转法镗削垂直孔系	a)　b)	利用回转工作台定位精度镗削垂直孔系，首先将工件安装在工作台上，按侧面或基面找正，待加工孔中心线与镗刀杆轴线同轴，镗好Ⅰ孔后，将工作台逆时针回转 90°，再镗削Ⅱ孔。这种方法依靠镗床工作台回转精度来保证孔系的垂直度
心轴校正法镗削垂直孔系	a)　b)	利用已加工好的Ⅰ孔，按Ⅰ孔选配检验心轴插入Ⅰ孔，镗刀杆上装百分表校对心轴两端，待两端等值后，加工Ⅱ孔 另一种方法，镗出Ⅰ孔后，在一次装刀下镗出基准面 *A*，然后转动工作台按 *A* 面找正，使之与镗刀杆轴线平行，再镗出Ⅱ孔。这种方法，比只依靠镗床工作台回转精度保证孔系的垂直度更加可靠

（续）

镗削方法	简　　图	说　　明
弯板与回转台结合镗削垂直孔系		这种方法适用于较小工件，在回转工作台上装夹一块弯板，将工件的基准面夹压在弯板上，同样利用回转工作台保证垂直度。工件不仅有垂直孔，而且有平行孔，可先加工Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ孔，转90°后再加工Ⅰ孔，也可以先加工Ⅰ孔，转90°后再加工Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ孔

表 9-13　端面刮削刀杆的支承方式

支承方式	简　　图	说　　明
刀杆不加支承，直接刮削		用于内孔较小且刮削端面也不大的孔端面刮削

（续）

支承方式	简　　图	说　　明
利用内孔作支承刮削		刀杆与孔（工艺孔）为滑配尺寸，端面刮削后，将孔加工至图样尺寸
利用衬套作支承刮削		若镗孔精度要求高，表面质量也要求高时，最好不采用这种方法

4. 孔端面的刮削

孔端面的刮削，主要适用于直径不大的孔端面的加工。可在孔加工前后进行，不用移动主轴中心位置，操作简单。但加工质量一般，尤其是端面的平面度和孔中心线的垂直度不如车削和铣削加工的质量好。特别是当刀杆较细且刮削面宽时质量更难保证。

孔端面刮削时，多采用单刃刀刮削。单刃刀刮削的缺点是，易产生凹心及波纹，主要原因是刀杆刚性差、切削面长、刀方尺寸小和刀具后角大等。所以在选用刀杆时，应尽量选短而粗且刚性好的刀杆。对于那些因孔小限制了刀杆直径的孔端面的加工，可将孔预先加工到与刀杆滑配的尺寸，利用该孔支承刮削，然后再将孔加工至图样尺寸，也可在已加工好的孔中装入支承套支承刀杆刮削。

精刮端面时，一般使用高速钢刀具，最好采用双刃刀具刮削，如果采用单刃刀具，在加工之前，须检查一下刀具装夹在刀杆中的位置是否正确，主要是刀口对刀杆中心线的垂直度，可用直角尺紧贴在孔的表面上检查所装刀具的切削刃是否与尺面贴合。

端面刮削刀杆的支承方式见表9-13，圆柱孔端面刮削方法见表9-14。

5. 铣削平面

在刨床、铣床等设备上不便加工的平面或与孔有位置精度要求的平面，可采用镗床来加工。在镗床上铣削平面关键在于铣刀的装夹方法和刚性的好坏。

圆柱孔端面铣削方法见表9-15。

6. 内、外沟槽的镗削方法（表9-16）

表 9-14　圆柱孔端面刮削方法

刮削方法	简　　图	说　　明
粗刮	a) 分段粗刮端面 b) 端面外圆倒角	粗刮一般使用硬质合金刀具。若孔的端面较大，可用 90°偏刀分段切除余量；若孔的端面是凸起面，且端面外缘处较硬，可先用 45°偏刀副切削刃将凸台外缘倒角，这样可以保护精刮时使用的高速钢刀具

（续）

刮削方法	简　　图	说　　明
精刮	刀具与刀杆垂直程度检查	精刮端面由于刮刀切削刃较长，切削转矩较大，所以切削速度要低。刀具后角尽可能小些，可取4°~8°。刀杆应尽量粗些，以提高刚度。若工件的孔端面过宽，可分段刮削，但接刀处必须平整光滑

表 9-15　圆柱孔端面铣削方法

铣削方法	简　　图	说　　明
立铣刀铣削	铣刀　弹簧套　螺母　夹头体 胀簧夹头	对直径小于 6mm 的直柄立铣刀一般用钻夹头来装夹 直径为 6～25mm 的直柄立铣刀可采用胀簧夹头夹紧的方法
	铣刀　7∶24过渡套　接柄体　一对斜楔　主轴 法兰固定式	立铣刀在镗床主轴上的连接方式： 法兰固定式：把装好铣刀的锥套插进刀杆的锥孔，用螺栓把锥套法兰与刀杆法兰紧固起来

（续）

铣削方法	简　　图	说　　明
立铣刀铣削	螺母　带外螺纹的接柄体　7:24过渡套　螺钉 外螺纹固定式	外螺纹固定式：随着刀杆上外螺纹与螺母的旋紧，螺母平面将锥套紧紧固定在刀杆上
	带方榫的内螺纹过渡套　接柄体　铣刀　吊紧螺钉　A　A 内螺纹固定式	内螺纹固定式：刀杆的内螺纹与锥套的尾部外螺纹相联接，用锥套端部四方头旋紧

（续）

铣削方法	简　　图	说　　明
面铣刀铣削	a) b)	面铣刀在镗床主轴上的连接方式： 刀盘直径小于 250mm 时，其刀盘直接装在刀杆上并用螺钉锁紧（图 a） 刀盘直径大于 250mm 时，可装在端面上具有螺孔和键的主轴上（图 b）或铣刀体通过锥形开口套筒用螺母直接紧固在主轴的外圆上（图 c）

（续）

铣削方法	简　　图	说　　明
面铣刀铣削	面铣刀 主轴 工件 开口套筒 螺母 刀盘 c)	面铣刀在镗床主轴上的连接方式： 刀盘直径小于 250mm 时，其刀盘直接装在刀杆上并用螺钉锁紧（图 a） 刀盘直径大于 250mm 时，可装在端面上具有螺孔和键的主轴上（图 b）或铣刀体通过锥形开口套筒用螺母直接紧固在主轴的外圆上（图 c）
主轴悬伸铣削	工件 主轴 主轴悬伸支承	这种方法用于铣削内深平面，采用主轴悬伸支承进行加工。主轴悬伸支承一端与镗床的平旋盘连接，另一端托住悬伸过长的主轴一端，增加铣削部位刚性

（续）

铣削方法	简　　图	说　　明
利用平旋盘进行铣削	从里向外铣削　从外向里铣削	径向刀架进给方式：由平旋盘转动，盘上的径向刀架做径向进给。铣削前，必须调整好移动刀架的齿条间隙，以保证铣削的质量。当刀架从外向里铣削，铣削的直径较大，刀具的线速度大，容易磨损，加工面易产生中间凸。反之，从里向外铣削的易产生中间凹的端面
		径向刀架固定的方式：由平旋盘旋转，盘上的径向刀架固定，由工作台或主轴箱做进给。铣削大平面时应考虑工作台横向行程是否够长。粗铣时，进给量不宜太大，避免产生振动。精铣时，采用较宽的修光刃，刃口线贴平加工面，加大进给量，使表面粗糙度值减小

（续）

铣削方法	简　　图	说　　明
用镗床附件铣削		直角铣头铣削方法：直角铣头支座的一端与镗床连接，刀柄与支座用螺栓固定。铣头可在0°～360°内调整工作位置，铣削不同平面
	支座 方向座	万能铣头铣削方法：可根据工件平面位置与形状，在垂直两个方向调整360°角度，铣削不同平面

表 9-16　内、外沟槽的镗削方法

镗削方法	简　　图	说　　明
（1）内沟槽		
斜榫式径向内沟槽镗刀杆及镗刀头	 1—内槽镗刀　2—凹形斜榫　3—轴用挡圈 4—螺杆　5—倒顺牙螺母　6—手轮 7—拉簧　8—拉簧连接座 9—锥柄	利用这种专用工具，完成刀具径向切入切出内槽，专用工具锥柄与镗床主轴锥孔连接，转动手轮和螺杆，在螺母中旋转并移动，凹形斜榫向前或向后平移，内槽镗刀在斜榫作用下从刀体方孔中伸出或在拉簧作用下内缩，完成切槽和回刀动作。镗刀切削刃宽一般为≤5mm，当槽宽要求 >5mm时，可通过镗床工作台移动完成切制槽宽

（续）

镗削方法	简　　图	说　　明
（1）内沟槽		
斜榫式径向内沟槽镗刀杆及镗刀头	R10 20°～25° R 5°～8° 1°～2° ≤5 1°～1$\frac{1}{2}$° 高速钢内槽镗刀头	利用这种专用工具，完成刀具径向切入切出内槽，专用工具锥柄与镗床主轴锥孔连接，转动手轮和螺杆，在螺母中旋转并移动，凹形斜榫向前或向后平移，内槽镗刀在斜榫作用下从刀体方孔中伸出或在拉簧作用下内缩，完成切槽和回刀动作。镗刀切削刃宽一般为≤5mm，当槽宽要求＞5mm时，可通过镗床工作台移动完成切制槽宽

（续）

镗削方法	简　　图	说　　明
（1）内沟槽		
平旋盘镗内沟槽		这种方法适用于内孔孔径较大的内槽加工。镗内槽时镗刀固定在平旋盘径向刀架刀杆上，刀架带动刀杆径向进给镗削出内槽。这种方法刚性较好
用铣头镗内沟槽	 1—主轴　2—传动轴　3—本体　4—90°锥齿轮副 5—铣刀主轴　6—立铣刀　7—工件	这种方法适用于大型工件上较大孔径上加工不通孔的内槽，镗床主轴通过传动轴使一对回转锥齿轮上的键带动铣头上主轴转动，完成镗内槽工作，槽深由主轴箱升降来控制

（续）

镗削方法	简　　图	说　　明
（2）外沟槽		
镗床主轴铣直槽		首先选用与所用铣刀直径相同的钻头，钻削出落刀孔，然后用立铣刀铣直槽。这种方法也可完成T形槽直槽等的加工
平旋盘镗削平面上环形槽	a) b)	镗削平面上环形槽时，可直接用平头刀镗削环形槽至要求深度（图a）。当切削刃宽度小于槽宽时，移动平旋盘的径向刀架重新切槽直至达到尺寸要求，并应保证槽深一致。这种方法也可完成T形环槽等的加工（图b）

7. 外圆柱面的镗削方法（表9-17）

表9-17　外圆柱面的镗削方法

镗削方法	简　　图	说　　明
专用镗杆镗削方法	悬臂镗杆 通孔镗杆	用专用镗杆及镗刀镗削外圆柱面时，刀杆一般为悬伸状态，镗刀刚性也较差，切削中容易产生振动

（续）

镗削方法	简　　图	说　　明
平旋盘装刀镗削方法	6 5 4 3 2 1 1—平旋盘　2—径向滑块　3—刀杆座 4—紧定螺钉　5—刀杆固定螺钉　6—刀杆	用平旋盘刀杆镗削外圆柱面时，刀杆悬伸长度越短越好，以增加加工刚性，这种方法加工直径范围较大，背吃刀量用微进给手轮做调整

9.6.4 用镗模加工方法

在成批生产中，利用镗模来保证孔系的位置精度，则要求镗模和镗杆均应有较高的刚度。镗杆与机床主轴为浮动连接，镗杆用镗套支承，孔系的精度由镗模保证。所以镗模的孔坐标位置公差一般在给定公差的$\frac{1}{3}\sim\frac{1}{2}$之间，如工件上两孔中心距公差要求为0.06mm，则镗模上相应两孔距离公差为0.02~0.03mm。

镗模上导向支承的形式多为前、后导向支承，这样便于使用插入主轴锥孔中的浮动接杆带动直柄刀杆进行切削加工。

当孔轴线短或同轴孔系的中间有小孔或被无孔隔墙所堵时，镗模上只有一端支承孔，加工前须用百分表对该支承孔找圆后，方能加工。

9.7 卧式铣镗床常用测量方法及精度（表9-18）

表9-18 卧式铣镗床常用测量方法及精度

（单位：mm）

测量方法	图　　示	精度
用游标卡尺测量孔间距离与平行度		0.08

（续）

测量方法	图　　示	精度
用游标卡尺或内径规测量孔间距离与平行度		0.06
用千分尺测量孔间距离与平行度		0.04
用定位器及内径规测量孔间距离与平行度		0.04
用高度游标卡尺或千分表测量基准面与孔的平行度		0.06

（续）

测量方法	图　　示	精度
用装在镗杆上的千分表测量孔与端面的垂直度		0.04
用高度游标卡尺测量三个孔轴线的同一平面度		0.06
用检验心轴与塞尺测量孔轴线的同一平面度		0.04

（续）

测量方法	图　　示	精度
用装在镗杆上的千分表与检验心轴测量两孔的垂直度		0.06
用内径规、检验直尺及检验心轴测量一个孔至另一个端面的距离	检验直尺 内径规 检验心轴	0.06

第 10 章　刨工、插工技术

10.1　刨削

刨削适用于在多品种、小批量生产中加工各种平面、导轨面、直沟槽、燕尾槽、T 形槽等。如果增加辅助装置，还可以加工曲面、齿条和齿轮等工件。

刨削加工尺寸公差等级一般可达 IT9 ~ IT7，工件表面粗糙度 *Ra* 可达 6.3 ~ 1.6μm。

10.1.1　刨削加工方法

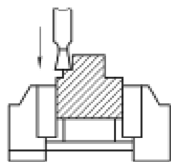
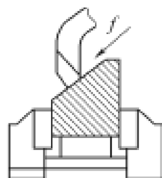
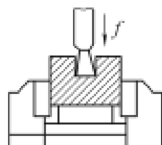
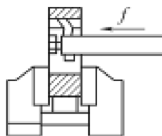
1. 牛头刨床常见加工方法（表 10-1）

2. 龙门刨床常见加工方法（表 10-2）

表 10-1　牛头刨床常见加工方法

刨平面	f
刨侧面	f

（续）

刨台阶	
刨斜面	
刨槽	
刨孔内槽	

（续）

刨 V 形槽	
刨燕尾槽	f
刨 T 形槽	f
刨曲面	
刨齿条	f

（续）

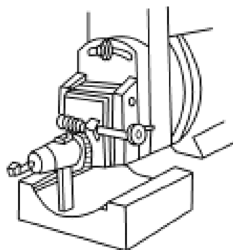
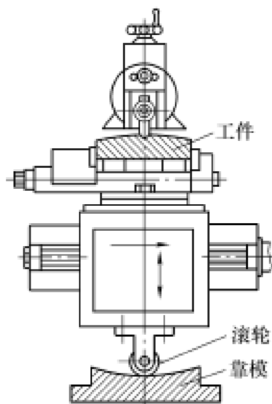
可转刀杆刨凹圆柱面	
仿形法刨圆弧面	

表 10-2　龙门刨床常见加工方法

用垂直刀架加工一个平面	
用水平刀架加工一个平面	
用垂直刀架加工一个与基准面平行的平面（用垫铁调整方法）	
用两个垂直刀架同时加工两侧面	
用两个水平刀架同时加工两侧面	

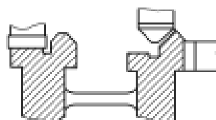
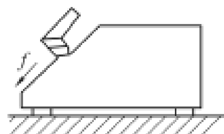
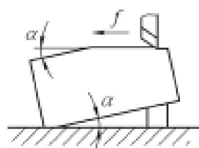
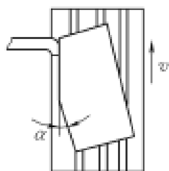
（续）

用垂直刀架与水平刀架同时加工两侧面	f f
用水平刀架加工一个与基准面平行的平面（基准面用百分表校准）	f
用两个垂直刀架同时加工上平面与侧面	f f
用两个水平刀架及一个垂直刀架同时加工上平面与侧面	f f f
用水平刀架加工内表面	f

（续）

用垂直刀架加工内表面	
用垂直刀架加工上面的T形槽	
用垂直刀架与水平刀架同时加工上平面与侧面	
用水平刀架加工侧面的T形槽	
用垂直刀架加工齿条	

（续）

用两个垂直刀架和一个水平刀架同时加工导轨面	
用垂直刀架倾斜角度加工斜面	
把工件装成斜度加工斜面	 a) 用垂直刀架  b) 用水平刀架

10.1.2 刨刀类型及切削角度的选择

1. 刨刀的结构形式（表 10-3）

表 10-3 刨刀的结构形式

种类	图　　示	特点及用途
粗刨刀		粗加工表面用刨刀。多为强力刨刀，以提高切削效率
精刨刀		精细加工用刨刀。多为宽刃形式，以获得较小表面粗糙度值的表面
整体刨刀		刀头与刀杆为同一材料制成，一般高速钢刀具多是此种形式
焊接刨刀		刀头与刀杆由两种材料焊接而成。刀头一般为硬质合金刀片

（续）

种类	图　　示	特点及用途
机械夹固式刨刀		刀头与刀杆为不同材料，用压板、螺栓等把刀头紧固在刀杆上

2. 常用刨刀的种类及用途（表 10-4）

表 10-4　常用刨刀的种类及用途

种类	图　　示	特点及用途
直杆刨刀		刀杆为直杆。粗加工用
弯颈刨刀		刀杆的刀头部分向后弯曲。在刨削力作用下，弯曲弹性变形，不扎刀。切断、切槽、精加工用

（续）

种类	图　示	特点及用途
弯头刨刀		刀头部分向左或右弯曲。用于切槽
平面刨刀	1—尖头平面刨刀 2—平头平面刨刀 3—圆头平面刨刀	粗、精刨平面用
偏刀	1—左偏刀　2—右偏刀	用于加工互成角度的平面、斜面、垂直面等

（续）

种类	图　　示	特点及用途
内孔刀		加工内孔表面与内孔槽
切刀		用于切槽、切断、刨台阶
弯切刀	 1—左弯切刀　2—右弯切刀	加工 T 形槽、侧面槽等

（续）

种类	图　　示	特点及用途
成形刀		加工特殊形状表面。刨刀切削刃形状与工件表面一致，一次成形

3. 刨刀切削角度的选择（表 10-5）

表 10-5　刨刀切削角度的选择

［单位：（°）］

加工性质	工件材料	刀具材料	前角 γ_o	后角 α_o①	刃倾角 λ_s	主偏角 κ_r②
粗加工	铸铁或黄铜	W18Cr4V	10～15	7～9	－10～－15	45～75
		YG8，YG6	10～13	6～8	－10～－20	
	钢 R_m < 750MPa	W18Cr4V	15～20	5～7	－10～－20	
		YW2，YT15	15～18	4～6	－10～－20	
	淬硬钢	YG8，YG6X	－15～－10	10～15	－15～－20	10～30
	铝	W18Cr4V	40～45	5～8	－3～－8	

（续）

加工性质	工件材料	刀具材料	前角 γ_o	后角 α_o①	刃倾角 λ_s	主偏角 κ_r②
精加工	铸铁或黄铜	W18Cr4V	$-10\sim0$	$6\sim8$	$5\sim15$	$0\sim45$
		YG8，YG6X	$-15\sim-10$③ $10\sim20$	$3\sim5$	$0\sim10$	
	钢 $R_m<750\text{MPa}$	W18Cr4V	$25\sim30$	$5\sim7$	$3\sim15$	$45\sim75$
		YW2，YG6X	$22\sim28$	$5\sim7$	$5\sim10$	
	淬硬钢	YG8，YG8A	$-15\sim-10$	$10\sim20$	$15\sim20$	$10\sim30$
	铝	W18Cr4V	$45\sim50$	$5\sim8$	$-5\sim0$	

① 精刨时，可根据情况在后刀面上磨出消振棱。一般倒棱后角 $\alpha_{o1}=-1.5°\sim0°$，倒棱宽度 $b_{a1}=0.1\sim0.5\text{mm}$。

② 机床功率较小、刚性较差时，主偏角选大值，反之，选小值。主切削刃和副切削刃之间宜采用圆弧过渡。

③ 两组推荐值都可用，视具体情况选用。

10.1.3　刨削常用装夹方法（表10-6）

表10-6　刨削常用装夹方法

方法	分类与用途	图　示
压板装夹	平压板和弯头压板	
	可调压板	
	孔内压板	
虎钳装夹	刨一般平面	
	平面1、2有垂直度要求时	1 2 圆柱棒

（续）

方法	分类与用途	图示
虎钳装夹	平面3、4有平行度要求时	
	虎钳与螺栓配合装夹薄壁工件	
螺纹撑、螺纹挡装夹	螺纹撑	a) 用于T形槽的螺纹撑 b) 用于圆柱孔内的螺纹撑

（续）

方法	分类与用途	图　　示
螺纹撑、螺纹挡装夹	螺纹挡	
	用螺纹撑和挡块在工作台上装夹工件	
	用螺纹撑和挡块在工作台上装夹薄板工件	

（续）

方法	分类与用途	图　　示
螺纹撑、螺纹挡装夹	用角度挡块和螺纹撑在工作台上装夹圆柱形工件	
	用螺纹撑在工作台上装夹圆弧工件	

（续）

方法	分类与用途	图　示
弯板装夹工件	刨垂直面及槽	
楔铁装夹工件	楔铁装夹薄板工件	楔铁斜度采用1∶100，适于加工薄而大的工件。粗加工时，考虑热变形的影响，必须将纵向的楔铁适当放松些，且工件两面应轮流翻转，多次重新装夹加工，使两加工面的内应力接近平衡

（续）

方法	分类与用途	图　　示
其他装夹方法	挤压方法装夹工件	
	压板与千斤顶配合装夹工件	
	箱体工件的装夹方法	止动圆柱 压板 螺纹撑 垫铁

10.1.4 刨削工具（表10-7）

表10-7 刨削工具

名称	简　　图	说　　明
刨内槽工具		齿轮或带轮等内孔工件的键槽，一般采用插床加工，但也可采用牛头刨床来加工。加工时，只要拆除原来刀架拍板的刀杆，并加装图示的刀杆，即可刨削内孔键槽。刨削时宜将刀架拍板固定，以防由于往复运动引起刀架来回跳动，产生扎刀现象
刨削内、外圆弧工具	 a) 刨内圆弧刀架 b) 刨外圆弧刀架	在牛头刨床上加工内、外圆弧曲面，需把原刀架拍板改成图中所示刀架。加工时，每次回程进刀，匀速地旋转手柄，使刀头依蜗轮中心轴线转动进给，即可获得内圆弧曲面。刀尖与蜗轮轴线的距离，应等于圆弧曲面的半径 R。当拆除刨刀、改用刀杆时，同理可获得外圆弧曲面。但被加工件长度，受刀杆装刀孔前面与刀杆内侧长度 L 的限制

(续)

名称	简图	说明
四方刀架		采用图示的四方刀架，可以同时安装几种用途的刀具。如为了提高生产率，可以同时安装两把刀具，作为粗、精加工平面等用途

10.1.5 槽类工件的刨削与切断（表10-8）

表10-8 槽类工件的刨削与切断

类别	图示	加工方法
直角沟槽		当槽的精度要求不高且又较窄时，可按图a所示一次将槽刨完 当精度要求较高且宽度又较大，可按图b所示先用较窄的切槽刀开槽，然后用等宽的切槽刀精刨

（续）

类别	图　　示	加 工 方 法
直角沟槽	a)　b)	宽度很宽的槽，按下列两种方法加工： 图 a 所示是按 1、2、3 顺序用切刀垂直进给，三面各留余量0.1～0.3mm，粗切后再进行精刨 图 b 所示是先用切槽刀刨出 1、2 槽，再用尖头刨刀粗刨中间，三面各留余量 0.1～0.3mm，最后换切槽刀精刨
轴上直通槽	a)　b)　c)	短的工件可按图 a 所示用虎钳装夹，长的工件可按图 b 所示直接装夹在工作台台面上 为了保证槽侧与轴线的平行度，装夹时应用百分表找正侧母线 粗刨直通槽方法与刨直角沟槽相同 精刨时，先用切槽刀垂直进给精刨一个侧面，此时要特别注意保证键槽对轴线的对称度，测量方法可参照图 c，其中 $L=\dfrac{D-b}{2}+l$（D—轴的实际尺寸；b—键槽按中间公差的宽度），L 值可用卡尺或公法线千分尺测量。精刨完一侧后，再精刨另一侧达到槽宽要求

（续）

类别	图　　示	加 工 方 法
V 形槽	a)　b)　c) d)　e) f)　g) h) i)	（1）加工方法 1）按尺寸划线，用水平走刀粗刨大部分余量，见图 a 2）按图 b 所示切空刀槽 3）倾斜刀架，用偏刀刨两斜面，见图 c 4）尺寸小的 V 形槽，可用样板刀精刨，见图 d 5）可按图 e 所示用夹具刨 V 形槽 （2）测量方法（V 形槽尺寸要素见图 f） 1）以 1、2 顶面为基准按图 g 检查两 β 角，$\beta=90°+\frac{\alpha}{2}$。如 β 正确，则 α 角正确且 α 的角平分线与 1、2 面垂直 2）按图 h 所示测量 l_1 $l_1=l-\frac{d}{2}$ 3）按图 h 所示测量 h_1 $h_1=\frac{d}{2\sin\frac{\alpha}{2}}+h+\frac{d}{2}-\frac{b}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$ 如 h_1 准确，则尺寸 b 准确 4）成批生产时，可用样板检查，见图 i

（续）

类别	图　示	加工方法
T形槽	a)　b)　c)　d)	1）用直槽刀按图a所示切直槽 2）按图b所示用左弯头刀加工一侧面凹槽 3）按图c所示用右弯头刀加工另一侧面凹槽 4）用45°倒角刀按图d所示倒角 注意：刨T形槽时切削用量要小；刨刀回程时，必须将刀具抬出T形槽外
燕尾槽	1　2　3 a)　b)　c) 斜燕尾在水平面内的斜度（1∶K_a）和应偏转的斜角θ_a	1）按要求找正装夹后，精刨1面到尺寸 2）按图a所示用切槽刀刨直角槽，直角槽宽略小于燕尾槽小头宽度，直角槽深略小于燕尾槽深度 3）扳转刀架和拍板座，用偏刀刨斜面的方法，先粗刨后精刨一斜面2（见图b），并刨槽底相应部分到尺寸

（续）

<table>
<tr><th>类别</th><th colspan="5">图　　示</th><th>加 工 方 法</th></tr>
<tr><td rowspan="7">燕尾槽</td><td>斜镶条的斜度 1∶K_b</td><td>斜镶条的斜角 θ_b</td><td>燕尾的倾斜角 α</td><td>斜燕尾在水平面内的斜度 1∶K_a</td><td>斜燕尾在水平面内应偏转的斜角 θ_a</td><td rowspan="7">4）反方向扳转刀架和拍板座，换反方向偏刀，如果是直燕尾槽，可直接加工另一斜面 3（见图 c）及相应槽底到尺寸，如果是斜燕尾槽，工件需偏转一角度 θ_a 后再刨斜面和槽底到尺寸。注意 θ_a 的方向和斜面在哪一边均有规定要求，从加工第一个燕尾斜面时就不能搞错。当燕尾槽所用的斜镶条的斜角为斜镶条纵剖面之值时（无特殊说明的斜镶条均如此），θ_a 的值可由左表查出
5）切空刀槽、倒角（可分别穿插在 3、4 项中进行）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1∶50</td><td rowspan="2">1°9′</td><td>55°</td><td>1∶40.95</td><td>1°24′</td></tr>
<tr><td>60°</td><td>1∶43.3</td><td>1°19′</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1∶60</td><td rowspan="2">0°57′</td><td>55°</td><td>1∶40.15</td><td>1°10′</td></tr>
<tr><td>60°</td><td>1∶51.96</td><td>1°6′</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1∶100</td><td rowspan="2">0°34′</td><td>55°</td><td>1∶81.9</td><td>0°42′</td></tr>
<tr><td>60°</td><td>1∶83.3</td><td>0°40′</td></tr>
<tr><td>切断</td><td colspan="5"></td><td>1）根据图样要求，按划线或用金属直尺进行对刀切断
2）工件接近切断时进给量要减小
3）如工件较厚，可把工件翻身装夹，两面各刨一半
4）注意切断过程中切口尺寸不能因夹紧力而变小</td></tr>
</table>

10.1.6　镶条的刨削方法（表 10-9）

表 10-9　镶条的刨削方法

类别	图　　示	加 工 方 法
直镶条		1）粗刨成矩形，每面留 1～1.5mm 余量，分粗、精刨的目的是减少变形，便于装夹 2）精刨两宽面，控制厚度 $b=a\sin\alpha$，表面粗糙度为 $Ra3.2\mu m$，并留 0.1～0.2mm 刮削余量或 0.3～0.4mm 磨削余量，注意两面的平行度 3）用百分表找正平口钳钳口与滑枕行程方向平行。按 α 角大小扳转刀架刨一窄面，并在锐角的一边刨 0.15～0.25mm 宽的倒角 4）翻转工件刨另一窄面，并倒角。注意方向不要搞错，以免刨成梯形截面

（续）

类别	图　示	加工方法
斜镶条	a) 斜镶条 b) 工件装夹示意	1）粗刨成矩形，每面留 1 ~1. 5mm 余量 2）精刨基准宽面 1 3）以 1 面为基准，用与工件斜度相同的斜垫铁（其斜度 $S=\frac{b_1-b_2}{L}=\frac{(a_1-a_2)\sin\alpha}{L}$，在修配工作中，可借用与其相同的旧镶条）垫在工件底下，用撑板夹持工件，刨宽面 2，并注意留适当的刮削余量 4）按图 b 所示装夹刨小窄面 3，并倒角 注意：固定钳口与滑枕方向要平行；扳转角度为 α，方向不要搞错 5）按图 b 中间图所示装夹刨小窄面 4 并倒角 也可按图 b 下面图所示装夹刨小窄面 4，但要注意刀架扳转方向

10.1.7 精刨

1. 精刨的类型及特点（表 10-10）

表 10-10 精刨的类型及特点

类别		简图	特点与应用
直线刃精刨	一般宽刀精刨		1）一般刃宽10～60mm 2）自动横向进给 3）适用于在牛头刨床上加工铸铁和钢件。加工铸铁时，取 $\lambda_s = 3° \sim 8°$；加工钢件时，取$\lambda_s = 10° \sim 15°$ 4）表面粗糙度 *Ra* 可达1.6～0.8μm
直线刃精刨	宽刃刀精刨		1）一般刃宽 $L = 100 \sim 240$mm 2）$L > B$ 时，没有横向进给，只有垂直进给；$L \leqslant B$ 时，一般采用排刀法，常取进给量 $f = (0.2 \sim 0.6)L$，用千分表控制垂直进给量 3）适于在龙门刨床上加工铸铁和钢件 4）表面粗糙度 *Ra* 可达1.6～0.8μm

（续）

类别		简图	特点与应用
曲线刃精刨	圆弧刃精刨		1）采用圆弧刃，在同样的切削用量下，单位刃长的载荷小，刀尖强度高，耐冲击，因而寿命高 2）切削刃上每点的刃倾角都是变化的，可增大前角，减小切屑变形，因此在同样切削用量下，可减小刨削力和使切屑流畅排出，并能微量进给（0.01～0.1mm） 3）适用于加工碳素工具钢和合金工具钢，比直线刃可提高效率2～3倍 4）表面粗糙度 *Ra* 可达1.6～0.8μm

（续）

类别		简图	特点与应用
圆形刃精刨	不转圆形刃精刨		1）除具有圆弧刃的特点外，刃磨一次可分段使用，这样相对寿命高 2）节省辅助时间 3）适用于加工中碳钢 4）表面粗糙度 Ra 可达 3.2～1.6μm
	滚切精刨		1）显著提高切削效率和刀具寿命 2）在后刀面上有一个压光棱带，$\alpha_{o1}=0°$，$b_{a1}=0.2\sim1$mm，因而可提高表面加工质量 3）适用于加工铸铁、钢件、石材等多种材料 4）表面粗糙度 Ra 可达 1.6～0.8μm

2. 精刨刀常用的研磨方法（表 10-11）

表 10-11　精刨刀常用的研磨方法

类　别	研磨简图	说　明
平直前刀面的研磨		研磨前，先将磨石研平，按图示角度和方向研磨。为了防止把磨石研出沟痕，磨石在垂直于切削刃方向上有微小窜动 长方形磨石：粗研用 F240 ~ F200，精研用 F400 ~ F800
带断屑槽前刀面的研磨	R_y R_n γ_o B	一般取圆柱磨石半径 $R_y=(1.2\sim1.3)R_n$，研磨后 $\gamma_o=\arcsin\dfrac{B}{2R_y}$（$R_n$ – 刀具断屑槽半径） 研磨时，应使磨石不断地转动，以防把刀口研钝。圆柱磨石粒度同第一栏。在精研时，也可用铸铁或纯铜做成研棒，加上金刚砂研磨

（续）

类　别	研磨简图	说　　明
后刀面的研磨		研磨时，不要沿切削刃方向运动，否则会将刃口研钝 研磨板用铸铁做成，刀片平面度应比工件高1～2级，表面粗糙度 Ra 值不大于 0.4μm。金刚砂粒度 F400～F800
滚切刀具的研磨		一定要在刀片旋转下进行研磨 研磨外锥面用长方磨石；研磨内锥面用圆柱磨石。圆柱磨石的直径一般取 10～20mm 磨石的粒度同第一栏

10.2　插削

10.2.1　插刀

1. 常用插刀的类型及用途（表 10-12）

表 10-12　常用插刀的类型及用途

类型	图　　示	用途
尖刀		多用于粗插或插削多边形孔
切刀		常用于插削直角形沟槽和各种多边形孔
成形刀		根据工件表面形状需要刃磨而成，按形状分为角度、圆弧和齿形等成形刀

（续）

类型	图　　示	用途
小刀头		可按加工要求刃磨成各种形状，装夹在刀杆中，适用于粗、精和成形加工。因受刀杆限制不适宜加工小孔、窄槽或不通孔

2. 插刀主要几何角度（表 10-13）

表 10-13　插刀主要几何角度

图　　示	前角 γ_o/(°)			后角 α_o/(°)	副偏角 κ_r'/(°)	副后角 α_o'/(°)
	普通钢	铸铁	硬韧钢			
	5 ~ 12	0 ~ 5	1 ~ 3	4 ~ 8	1 ~ 2	1 ~ 2

10.2.2 常用插削方式和加工方法（表 10-14）

表 10-14 常用插削方式和加工方法

插削方式	图　　示	加工方法
插削垂直面	纵向移动 横向移动 划针 工件	将工件安装在工作台中间位置的两块等高垫铁上，并将划针安装在滑枕上，使滑枕上下移动，找正工件侧面上已划好的垂直线，然后横向移动工作台。用划针检查插削面与横向进给方向的平行度，最后进行插削
插斜面	横向进给 插削面	将工件放在工作台上，按划线找正工件，使加工面与横向进给方向平行，然后采用插削垂直面的方法进行插削
	β α	用斜垫铁将工件垫起，使待加工表面处于垂直状态，然后用插削垂直面的方法进行插削。垫铁角度为 $90° - \alpha$，这种方法适用于 $\beta \leqslant 11°25'$ 的工件

（续）

插削方式	图　　示	加 工 方 法
插斜面	α_0 α_0 滑枕在横向垂直面内倾斜 α_0 α_0 滑枕在纵向垂直面内倾斜	工件平放在工作台上，将滑枕按工件的斜度倾斜一个角度进行插削

（续）

插削方式	图　示	加工方法
插斜面		将工作台倾斜 β（$\beta = 90° - \alpha$）角，然后按插削垂直面的方法插削斜面，此方法只适用于工作台可倾斜成一定角度的插床或在工作台上加一个可倾斜的工作台
插曲面		将夹具的定位圆置于工作台中心定位孔内，将夹具压紧在工作台上，然后把工件安装并夹紧在夹具上，按照插削垂直面的方法进行插削，工作台做圆周进给。若工件批量较小时，可用自定心卡盘或用压板螺栓直接在工作台上装夹工件

（续）

插削方式	图　　示	加 工 方 法
插曲面	 1—滚轮　2—靠模板　3—拉力弹簧　4—纵溜板座　5—工件　6—插刀　7—工作台　8—横溜板座　9—横向进给丝杠	在插床纵向导轨上固定一块靠模板，将纵向进给丝杠拆去，并用弹簧拉紧，使滚轮紧靠靠模板，这样利用工作台的横向进给，就可以插出与靠模板曲线形状相反的曲面
		插削复杂的成形面时，先用划针按划线找正，利用工作台圆周进给加工圆弧表面，利用纵向或横向进给加工直线部分 插削简单的圆弧面可采用赶弧法，插削批量较大的小尺寸成形内孔面时，可采用成形刀插削

（续）

插削方式	图　　示	加工方法
插方孔	a) b) c)	在插削较大方孔时，先按划线找正粗插各边（见图 a），每边留余量 0.2～0.5mm，然后将工作台转 45°，用角度刀头插去四个内角上未插去的部分（见图 b），然后精插第一边，测量该边至基面的尺寸，符合要求后将工作台精确转 180°，精插其相对的一边，并测量方孔宽度尺寸，符合要求后，再将工作台精确转 90°，用上述方法插削第二边及第四边 尺寸较小的方孔，在进行粗插加工后，可按图 c 所示的方法，用整体方头插刀插削

（续）

插削方式	图　　示	加工方法
插键槽		按工件端面上的划线找正对刀后，插削键槽，先用手动进给至 0.5mm 深时，停车检查键槽宽度尺寸及键槽的对称度，调整正确后继续插削至要求 找正插刀时，将百分表固定在工作台上，使百分表测头触及插刀侧面，纵向移动工作台，测得插刀侧面的最高点，将工作台准确地转 180°，按上述方法测得插刀另一侧面的最高点，前后两次读数差的一半即为主切削刃中心与工作台轴线的不重合度数值，此时可移动横向工作台，使插刀处于正确位置

第 11 章　螺纹加工技术

11.1　车螺纹

11.1.1　常用螺纹车刀的特点与应用（表 11-1）

11.1.2　螺纹车刀的安装

1. 对管螺纹车刀几何形状的要求

1）当车刀的径向前角 $\gamma=0°$ 时，车刀的刀尖角 ε 应等于牙型角 α，如 $\gamma\neq0°$，应进行修正（图 11-1）。

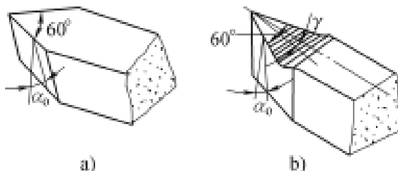


图 11-1　螺纹车刀前角与车刀几何形状关系

a）径向前角等于 0°　b）径向前角大于 0°

$$\tan\frac{\varepsilon'}{2}=\tan\frac{\alpha}{2}\cos\gamma$$

式中　ε'——有径向前角的刀尖角；

α——牙型角；

γ——螺纹车刀的径向前角。

2）车刀进刀后角因螺旋角的影响应该磨得较大。

3）车刀的左右切削刃必须是直线。

4）刀尖角对于刀具轴线必须对称。

表 11-1　常用螺纹车刀的特点与应用

名称	图　　示	特点与应用
车削铸铁螺纹用车刀		刀尖强度高，几何角度刃磨方便，切削阻力小。适用于粗精车螺纹（精车时应修正刀尖角）

（续）

名称	图　　示	特点与应用
车削钢件螺纹用车刀	Ra 0.2 10° 6° R=0.14P Ra 0.2 59°16′ 4°	刀具前角大、切削阻力小，几何角度刃磨方便。适用于粗精车螺纹（精车时应修正刀尖角）

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢螺纹车刀（Ⅰ）		刀具两侧刃面磨有 1 ~ 1.5mm 宽的刃带，作为精车螺纹的修光刃，因刀具前角大，应修正刀尖角。适用于精车螺纹

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢螺纹车刀（Ⅱ）		车刀有 4°～6°的正前角，前面有圆弧形的排屑槽（半径 R = 4～6mm）。适用于精车大螺距的螺纹

（续）

名称	图示	特点与应用
硬质合金内螺纹车刀		刀具特点与外螺纹车刀相同。其刀杆直径及刀杆长度根据工件孔径及长度而定

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢内螺纹车刀		刀具特点与外螺纹车刀相同。其刀杆直径及刀杆长度根据工件孔径及长度而定

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢梯形螺纹粗车刀	R5　15°　Ra 0.2　6°~8°　8°　Ra 0.2　29°30′　5°	刀具有较大前角，便于排屑，刀具后角较小增强刀具刚性。适用于粗车螺纹

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢梯形螺纹精车刀		车刀前角等于0°，两侧刃后角具有0.3～0.5mm宽的切削刃带。适用于精车螺纹

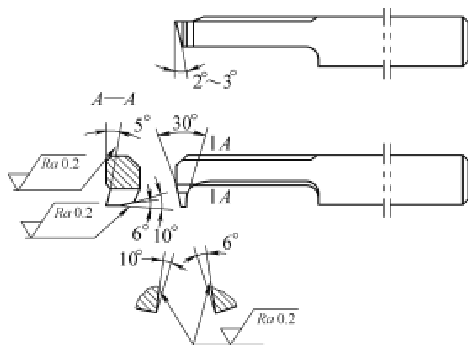
（续）

名称	图　　示	特点与应用
带分屑槽的梯形螺纹精车刀	Ra 0.2　$\gamma_o=0°$　Ra 0.2　10°　15°　R2~R3　0.2~0.3　8°　14°　Ra 0.2　30°±10′　0.2~0.3　R2~R3　6°　12°	车刀前面沿两侧磨有 $R=2\sim3$mm 的分屑槽，两侧刃后角磨有 0.2～0.3mm 的切削刃带。适用于精车螺纹

（续）

名称	图　　示	特点与应用
硬质合金梯形螺纹车刀		车刀前角等于0°，两侧刃后角磨有0.4～0.5mm的切削刃带。适用于精车螺纹

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢梯形内螺纹车刀		刀具特点与外螺纹车刀相同。刀杆的直径与长度，根据工件的孔径与长度而定

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢蜗杆螺纹粗车刀	20°~25° Ra 0.2 Ra 0.2 螺旋角 5° 8° 1~1.5 6°+ω R≈100 40° 1~1.5 6° Ra 0.2	车刀有较大的前角，切削阻力小，切屑变形小。两侧刃后角磨有 1 ~ 1.5mm 的切削刃带，增强刀具强度。适用于粗车螺纹

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢蜗杆螺纹精车刀		车刀前面为圆弧形（半径 $R=40\sim60$mm），有较大的侧刃前角，便于排屑，两侧刃后角磨有 0.5～1mm 的切削刃带，可提高刀具强度。前角大于0°时应修正刀尖角

（续）

名称	图　　示	特点与应用
带分屑槽蜗杆精车刀		车刀前面沿两侧有 $R=2\sim3\text{mm}$ 的分屑槽，两侧刃后角磨有 $0.5\sim1\text{mm}$ 的切削刃带，刀具刃磨后进行研磨两侧后角及前角，保证刃口平直光滑

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢锯齿形螺纹车刀		刀具两侧刃后角磨有1～1.5mm的切削刃带，用以增强刀具刚性，适用于粗、精车螺纹（若前角大于0°精车时应修正刀尖角）

（续）

名称	图　　示	特点与应用
硬质合金锯齿形螺纹车刀		车刀前角等于0°，强度好，刃磨方便。适用于精车螺纹

（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢带有刃带的方牙螺纹精车刀		车刀前角大，两侧刃后角具有1～1.5mm的切削刃带。因前角大，切削阻力小，排屑方便。适用于精车螺纹

（续）

名称	图　　示	特点与应用
可旋转调节刀杆	1—紧固螺钉　2—开口弹簧钢套 3—刀杆体　4—垫圈 5—紧固刀杆螺母	可旋转调节刀杆在使用中车刀头刀杆可相对刀杆体3转动一螺纹升角，然后用紧固螺钉1锁紧。这种刀杆调节方便，而且刀杆有弹性，能消除振动，提高工件加工精度和减小表面粗糙度值，还可延长刀具寿命。适用于加工螺纹升角很大的蜗杆工件

2. 车螺纹车刀的刀尖宽度尺寸

（1）车梯形螺纹车刀的刀尖宽度尺寸（牙型角$\alpha=30°$）（表11-2）

表11-2　车梯形螺纹车刀的刀尖宽度尺寸

（牙型角 $\alpha=30°$）

（单位：mm）

计算公式：刀尖宽度＝0.366×螺距－0.536×间隙					
螺距	刀尖宽度	螺距	刀尖宽度	螺距	刀尖宽度
2	0.598	8	2.660	24	8.248
3	0.964	10	3.292	32	11.176
4	1.330	12	4.124	40	14.104
5	1.562	16	5.320	48	17.032
6	1.928	20	6.784		

（2）车模数蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸（牙型角$\alpha=40°$）（表11-3）

表11-3　车模数蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸（牙型角 $\alpha=40°$）

（单位：mm）

计算公式：刀尖宽度＝0.843×模数－0.728×间隙 （若取间隙＝0.2×模数，则刀尖宽度＝0.697×模数）					
模数	刀尖宽度	模数	刀尖宽度	模数	刀尖宽度
1	0.697	（4.5）	3.137	12	8.364
1.5	1.046	5	3.485	14	9.758
2	1.394	6	4.182	16	11.152
2.5	1.743	（7）	4.879	18	12.546
3	2.091	8	5.576	20	13.940
（3.5）	2.440	（9）	6.273	25	17.425
4	2.788	10	6.970	（30）	20.910

注：括号内的尺寸尽量不采用。

（3）车径节蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸（牙型角$\alpha=29°$）（表11-4）

表11-4　车径节蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸（牙型角$\alpha=29°$）

（单位：mm）

计算公式：$刀尖宽=\dfrac{25.4\times0.9723}{径节（P）}=\dfrac{24.6964}{P}$

径节 P	刀尖宽度	径节 P	刀尖宽度	径节 P	刀尖宽度
1	24.696	8	3.087	18	1.372
2	12.348	9	2.744	20	1.235
3	8.232	10	2.470	22	1.123
4	6.174	11	2.245	24	1.029
5	4.939	12	2.058	26	0.950
6	4.116	14	1.764	28	0.882
7	3.528	16	1.544	30	0.823

注：刀尖宽度=螺纹槽底宽度，通常采用这个尺寸作磨刀样板（精车）。

3. 对螺纹车刀安装的要求

在装刀时，车刀刀尖的位置一般应对准工件轴线。为防止硬质合金车刀高速切削时振动，刀尖允许高于工件轴线螺纹大径的1%；在用高速钢车刀低速车削螺纹时，则允许刀尖位置略低于工件轴线。

车刀牙型角的分角线应垂直于螺纹轴线。

车刀伸出刀座的长度不应超过刀杆截面高度的1.5倍。

螺纹车刀的对刀方式、安装方法及应用范围如下：

1）用中心规（螺纹角度卡板）安装外螺纹车刀。对刀精度低，适用于一般螺纹车削（图 11-2）。

2）用中心规（螺纹角度卡板）安装内螺纹车刀。对刀精度低，适用于一般螺纹车削（图 11-3）。

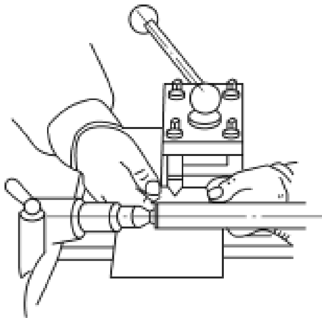


图 11-2　车外螺纹时对刀方法

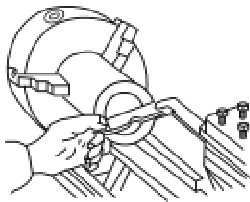


图 11-3　车内螺纹时对刀方法

3）用带有 V 形块的特制螺纹角度卡板对刀（图 11-4），卡板后面做一 V 形角尺面，装刀时放在螺纹外圆上作为基准，以保证螺纹车刀的刀尖角对分线，与螺

纹工件的轴线垂直。这种方法对刀精度较高，适用于车削精度较高的螺纹工件。

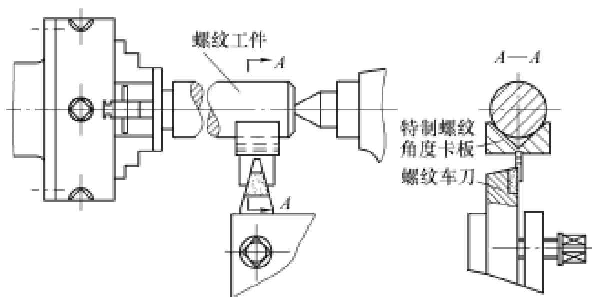


图 11-4　用带有 V 形块的螺纹角度卡板对刀方法

4）选用刀杆上一个侧面作为刃磨和装刀的同一基准。在工具磨床上刃磨车刀刀尖和装刀时，同时用百分表找正这个基准面的直线度（图 11-5），这样可以保证装刀的偏差。这种方法对刀精度最高，适用于车削精密螺纹。

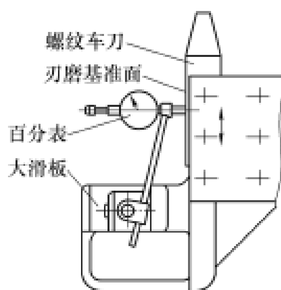


图 11-5　用同一基准面对刀方法

5）图 11-6 所示为法向安装螺纹车刀，可使车刀两侧刃的工作前、后角相等，切削条件一致，切削顺利，但会使牙型产生误差。法

向安装车刀主要适用于粗车螺纹升角大于3°的螺纹，以及车削法向直廓蜗杆。

6）图 11-7 所示为轴向安装螺纹车刀。车刀两侧刃的工作前、后角不等，一侧刃的工作前角变小，后角增大，而另一侧刃则相反。轴向安装车刀主要适用于各种螺纹的精车，以及车削轴向直廓蜗杆。

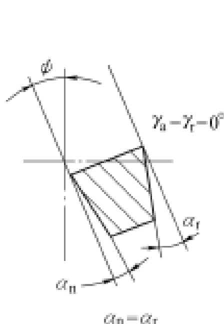


图 11-6　法向安装螺纹车刀

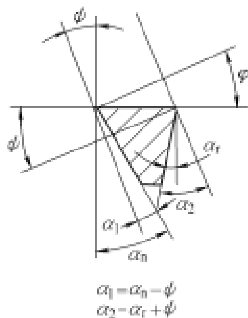


图 11-7　轴向安装螺纹车刀

11.1.3　卧式车床车螺纹交换齿轮计算

在卧式车床上车削标准螺距的螺纹时，一般不需要进行交换齿轮的计算，只有车削特殊螺距时，才进行交换齿轮的计算。

1. 车特殊螺距时的计算方法

特殊螺距是指螺距（或每英寸牙数、模数等）在铭牌上找不到的，可以用下列公式（寸制车床、米制车床都适用）计算：

车米制螺纹或模数蜗杆

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{a}{a_1}\times i_{原}$$

车寸制螺纹或径节蜗杆

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{b_1}{b}\times i_{原}$$

式中　a——工件螺纹的螺距或模数；

a_1——在铭牌上任意选取的螺距或模数，如果 a 是螺距，则 a_1 应该在铭牌螺距一栏中任意选取；如果 a 是模数，则 a_1 应该在铭牌模数一栏中任意选取；

b——工件螺纹的每英寸牙数或径节；

b_1——在铭牌上任意选取的每英寸牙数或径节，如果 b 是每英寸牙数，则 b_1 应在铭牌上每英寸牙数一行中任意选取；如果 b 是径节，则 b_1 应在铭牌上径节一栏中任意选取；

$i_{原}$——所选出来的 a_1 或 b_1 原来位置上的交换齿轮比，这个比值在铭牌上是注明的。

例 1　在 C620-1 型车床上，要车螺距 $P=0.9$mm 的螺纹，求交换齿轮齿数和手柄位置。

解：0.9mm 的螺距在铭牌上没有，可以在米制螺纹螺距一行中选 $a_1=0.8$mm，由铭牌查出 $i_{原}=\frac{22}{33}\times\frac{20}{25}$，手柄在 1 的位置，现在要车螺距 0.9mm 的螺纹，则

$$传动比\ i=\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{a}{a_1}\times i_{原}=\frac{0.9}{0.8}\times\frac{22}{33}\times\frac{20}{25}=\frac{40}{48}\times\frac{36}{50}$$

手柄仍放在 1 的位置。

例 2　在 C615 型车床上车每英寸 $10\frac{1}{2}$牙的寸制螺纹，求交换齿轮齿数和手柄位置。

解：每英寸 $10\frac{1}{2}$牙的螺距在铭牌上没有，可在寸制螺纹每英寸牙数一栏中选取 $b_1=5.5$，查出 $i_{原}=\frac{25}{31}\times\frac{21}{22}$，手柄在 3 的位置，现在要车每英寸牙数为 $10\frac{1}{2}$的螺纹，则

$$传动比\ i=\frac{b_1}{b}\times i_{原}=\frac{5.5}{10.5}\times\frac{25}{31}\times\frac{21}{22}=\frac{21}{42}\times\frac{25}{31}$$

手柄放在 3 的位置上。

2. 车模数或径节蜗杆时的计算方法

车模数蜗杆

$$i=\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{工件模数}{铭牌上所选螺距}\times\frac{22}{7}\times i_{原}$$

车径节蜗杆

$$i=\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{铭牌上所选每英寸牙数}{工件径节}\times\frac{22}{7}\times i_{原}$$

应用以上公式时应注意：如果要车模数蜗杆，应在铭牌米制螺距一行中选取；如果要车径节蜗杆，应在铭牌上寸制螺纹（每英寸牙数）一行中选取，应尽可能使选出的数字与要车工件数字相同。

例 3　在一台带有进给箱的寸制车床上，车一个模数

$m=2.5\text{mm}$ 的蜗杆，求交换齿轮齿数和手柄位置。

解： 在铭牌米制螺距一行中选取 2. 5，查出 $i_{原}=\frac{50}{127}$，手柄 A 在 8 的位置上，手柄 B 应放在 3 的位置上。现在要车模数 2. 5 的蜗杆，则

$$i=\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\text{工件模数}}{\text{铭牌上所选螺距}}\times\frac{22}{7}\times i_{原}=\frac{2.5}{2.5}\times\frac{22}{7}\times\frac{50}{127}$$

$$=\frac{100}{35}\times\frac{55}{127}$$

手柄 A 在 8 的位置上，手柄 B 放在 3 的位置上。

例 4 在一台有进给箱的米制车床上，车一径节为 12 的蜗杆螺纹，求交换齿轮齿数和手柄位置。

解： 在铭牌寸制螺纹一行中选取 12，查出 $i_{原}=\frac{50}{60}\times\frac{70}{80}$，现在要车径节为 12 的蜗杆，则

$$i=\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\text{铭牌上所选每英寸牙数}}{\text{工件径节}}\times\frac{22}{7}\times i_{原}$$

$$=\frac{12}{12}\times\frac{22}{7}\times\frac{50}{60}\times\frac{70}{80}=\frac{50}{30}\times\frac{55}{40}$$

手柄应放在车每英寸 12 牙时所规定的位置。

3. 车多线螺纹交换齿轮齿数计算及分线方法

圆柱体上只有一条螺旋槽的螺纹，称为单线螺纹。凡有两条或两条以上螺旋槽的螺纹，就称为多线螺纹，如图 11-8 所示。

（1）导程计算公式

$$P_{\mathrm{h}}=Pn$$

式中　P_h——螺纹导程（mm）;

P——螺纹螺距（mm）;

n——螺纹线数。

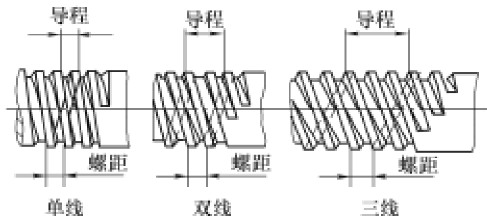


图 11-8　螺纹形式

（2）交换齿轮计算　车多线螺纹时的传动比，是按螺纹导程来计算的。为了减少计算导程（或者多线螺纹的每英寸牙数）的麻烦，只要在单线螺纹的公式后面乘上螺纹线数就行了。

例如米制车床车米制多线螺纹，计算公式为

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\text{工件螺距}}{\text{丝杆螺距}}\times\text{线数}$$

例 5　车床丝杆螺距 $P_{丝}=6$mm，车削一工件螺距为 2.5mm 的双线螺纹，求交换齿轮齿数。

解：

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{2.5}{6}\times 2=\frac{5}{6}=\frac{50}{60}$$

例 6　车床丝杆每英寸4牙，需车削工件是每英寸 10 牙的双线螺纹，求交换齿轮齿数。

解: $$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{4}{10}\times 2=\frac{4}{5}=\frac{40}{50}$$

（3）车多线螺纹的分线方法

1）用小刀架的丝杆分线（图 11-9）。这种方法属于轴向分线法，即当车好一条螺旋线后，把车刀轴向移动一个螺距，就可车削第二条螺旋线。可以按小刀架摇过的格数来计算：

$$\text{小刀架摇把摇过的格数}=\frac{\text{工件的螺距}}{\dfrac{\text{小刀架丝杆螺距}}{\text{刻度盘一圈的格数}}}=\frac{\text{工件的螺距}\times\text{刻度盘一圈的格数}}{\text{小刀架丝杆螺距}}$$

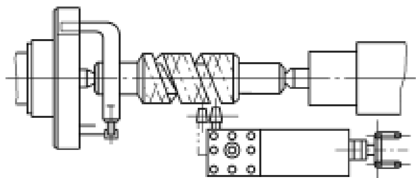


图 11-9　用小刀架的丝杆分线

例7　车床小刀架丝杆螺距为 5mm，小刀架刻度盘一圈 100 格，所车工件 Tr20×6（P2），问如何用小刀架丝杆分线？

解: $$\text{摇把应转的格数}=\frac{2\times 100}{5}=40$$

即车完每一线后，将小刀架摇把摇过 40 格，使小刀

架往前移一个螺距（2mm），就可车另一个头的螺纹。

2）用百分表分线方法（图 11-10）。对精度要求高的多线螺纹，可利用百分表控制小滑板的移动距离，即每车好一条螺旋槽后，使车刀沿轴向移动一个螺距。

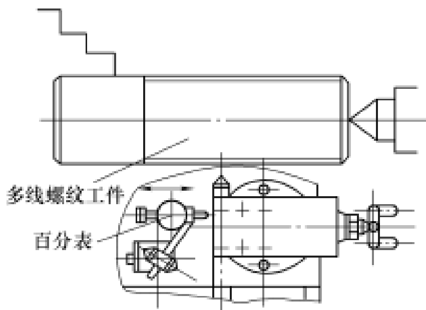


图 11-10　用百分表分线

3）用交换齿轮齿数分线方法（图 11-11）。这种方法属于圆周分线法，即当车好第一条螺旋线以后，使工件从车刀的传动链中脱开，并把工件转过一定的齿数（双线螺纹转 $z_1/2$，三线螺纹转 $z_1/3$）后，再合上传动链，就可以车另一个螺旋线。这样依次分线，就可把螺旋线车好。

当交换齿轮中的主动轮齿数是螺纹线数的倍数时，就可以按下列步骤进行分线：

① 当车好第一条螺旋线后，停车。

② 在主轴交换齿轮 z_1（主动轮 A）上，用粉笔做好三等分（或两等分），然后将中间轮 B 与主轴齿轮 A

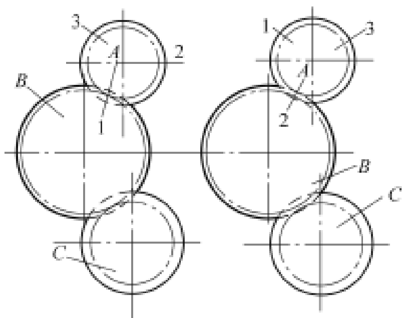


图 11-11　用交换齿轮齿数分线

脱开。

③ 用手转动卡盘，使记号 2 的一个齿转到原来 1 的位置上，这时再将中间轮 *B* 与主轴齿轮 *A* 啮合，即可车第二条螺旋线。

④ 第三条螺旋线的分线方法与第二条螺旋线的分线方法相同。

4）用分度盘分线方法（图 11-12）。将特制的分度盘装在主轴箱主轴上，利用盘上定位孔进行分线（一般定位孔为 12 等分）。分度盘可与自定心卡盘相连，也可以装上拨块 7 拨动夹头，用两顶尖装夹车削。其分线精度取决于分度盘定位孔的加工精度。这种方法适用于批量生产使用。

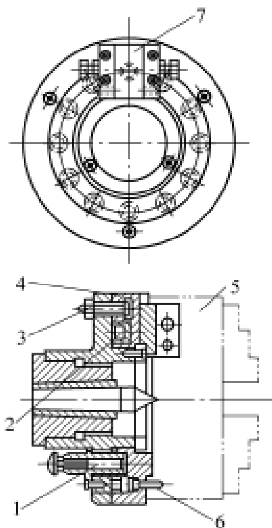


图 11-12　用分度盘分线

1—定位插销　2—定位孔　3—螺母　4—分度盘
5—卡盘　6—螺钉　7—拨块

11.1.4 螺纹车削方法（表 11-5）

表 11-5 螺纹车削进刀方式

三角形螺纹		梯形螺纹		方牙螺纹	
P /mm	车削方法	P /mm	车削方法	P /mm	车削方法
$P<3$	用一把硬质合金车刀，径向进刀车出螺纹	$P\leqslant3$	用一把车刀，径向进刀粗、精车成	$P\leqslant4$	用一把车刀，径向进刀车成。精密螺纹用两把刀，径向进刀，粗、精车成

（续）

三角形螺纹		梯形螺纹		方牙螺纹	
P /mm	车削方法	P /mm	车削方法	P /mm	车削方法
$P>3$	首先用粗车刀斜向进刀粗车，后用精车刀径向进刀精车。若为精密螺纹，精车时应用轴向进刀分别精车牙形两侧	$P\leqslant 8$	首先用比牙型角小 2°的粗车刀径向进刀车至底径，而后用精车刀径向进刀精车	$P\leqslant$ 12	分别用粗、精车刀径向进刀粗、精车

（续）

三角形螺纹		梯形螺纹		方牙螺纹	
P /mm	车削方法	P /mm	车削方法	P /mm	车削方法
$P>3$	首先用粗车刀斜向进刀粗车，后用精车刀径向进刀精车。若为精密螺纹，精车时应用轴向进刀分别精车牙形两侧	$P<10$	首先用切槽车刀径向进刀车至底径，再用刃形角比牙型角小2°的粗车刀径向进刀粗车，最后用开有卷屑槽的精车刀径向进刀精车	$P>12$	先用切刀径向进刀车至底径，后用左、右精车偏刀分别精车牙形两侧（轴向进刀）

（续）

三角形螺纹		梯形螺纹		方牙螺纹	
P /mm	车削方法	P /mm	车削方法	P /mm	车削方法
$P>3$	首先用粗车刀斜向进刀粗车，后用精车刀径向进刀精车。若为精密螺纹，精车时应用轴向进刀分别精车牙形两侧	$P\geqslant16$	先用切刀径向进刀粗车至底径，再用左、右偏刀轴向进刀粗车两侧，最后用精车刀径向进刀精车	$P>12$	先用切刀径向进刀车至底径，后用左、右精车偏刀分别精车牙形两侧（轴向进刀）

11.1.5 高速钢及硬质合金车刀车削不同材料螺纹的切削用量（表11-6）

表11-6 高速钢及硬质合金车刀车削不同材料螺纹的切削用量

加工材料	硬度 HBW	螺纹直径 /mm	每一次进给的横向进给量 /mm		切削速度 /（m/min）	
			第一次进给	最后一次进给	高速钢车刀	硬质合金车刀
易切削钢 碳素钢、碳素钢铸件 合金钢、合金钢铸件 高强度钢 马氏体时效钢 工具钢、工具钢铸件	100～225	≤25	0.50	0.013	12～15	18～60
		>25	0.50	0.013	12～15	60～90
	225～375	≤25	0.40	0.025	9～12	15～46
		>25	0.40	0.025	12～15	30～60
	375～535	≤25	0.25	0.05	1.5～4.5	12～30
		>25	0.25	0.05	4.5～7.5	24～40
易切不锈钢 不锈钢，不锈钢铸件	135～440	≤25	0.40	0.025	2～6	20～30
		>25	0.40	0.025	3～8	24～37
灰铸铁	100～320	≤25	0.40	0.013	8～15	26～43
		>25	0.40	0.013	10～18	49～73
可锻铸铁	100～400	≤25	0.40	0.013	8～15	26～43
		>25	0.40	0.013	10～18	49～73

（续）

加工材料	硬度 HBW	螺纹直径 /mm	每一次进给的横向进给量 /mm		切削速度 /（m/min）	
			第一次进给	最后一次进给	高速钢车刀	硬质合金车刀
铝合金及其铸件 镁合金及其铸件	30～150	≤25 >25	0.50 0.50	0.025 0.025	25～45 45～60	30～60 60～90
钛合金及其铸件	110～440	≤25 >25	0.50 0.50	0.013 0.013	1.8～3 2～3.5	12～20 17～26
铜合金及其铸件	40～200	≤25 >25	0.25 0.25	0.025 0.025	9～30 15～45	30～60 60～90
镍合金及其铸件	80～360	≤25 >25	0.40 0.40	0.025 0.025	6～8 7～9	12～30 14～52
高温合金及其铸件	140～230	≤25 >25	0.25 0.25	0.025 0.025	1～4 1～6	20～26 24～29
	230～400	≤25 >25	0.25 0.25	0.025 0.025	0.5～2 1～3.5	14～21 15～23

注：高速钢车刀使用含钴高速钢，牌号为 W12Cr4V5Co5 及 W2Mo9Cr4VCo8 等。

11.1.6 高速钢车刀车削螺纹时常用切削液（表 11-7）

表 11-7 高速钢车刀车削螺纹时常用切削液

工件材料 加工性质	碳素结构钢	合金结构钢	不锈钢、耐热钢	铸铁、黄铜	纯铜、铝及其合金
粗车	3% ~5%乳化液	1）3% ~5%乳化液 2）5% ~10%极压乳化液	1）3% ~5%乳化液 2）5% ~10%极压乳化液 3）含硫、磷、氯的切削油	一般不加	1）3% ~5%乳化液 2）煤油 3）煤油和矿物油的混合油
精车	1）10% ~20%乳化液 2）10% ~15%极压乳化液 3）硫化切削油 4）75% ~90% 2 号或 3 号锭子油加 25% ~10%菜籽油 5）70% ~80%变压器油中氯化石蜡 30% ~20%		1）10% ~25%乳化液 2）15% ~20%极压乳化液 3）煤油 4）食醋 5）60%煤油加 20%松节油加 20%油酸	铸铁通常不加切削液，需要时可加煤油 黄铜常不加切削液，必要时加菜籽油	铝及其合金一般不加切削液，必要时加煤油，但不可加乳化液

注：表中百分数为质量百分数。

11.2 磨削螺纹

螺纹磨削是用螺纹磨床对淬硬工件的螺纹进行精加工的主要方法。通过螺纹磨削可提高螺纹精度和减小其表面粗糙度值，并能提高螺纹的疲劳强度和工作寿命。螺纹磨削主要用于加工精密丝杠，各类螺纹工具、量具、螺纹量规等。

11.2.1 螺纹磨削方法（图 11-13）

1. 单线砂轮纵向磨削方法（图 11-13a）

这种磨削螺纹的方法，是利用形状相当于一个螺纹齿槽的单线砂轮作为工具，并相对于工件倾斜一个螺纹升角 λ，磨削时，砂轮对工件做横向进给运动，工件绕自身的轴线旋转，同时做纵向移动（每转一周，纵向移动一个螺距），这样就形成按纵向进给的方式来磨削螺纹。

这种磨削螺纹的方法机床调整与砂轮修整均较方便，但磨削效率低，常用于单件、小批加工。

同在车床上车削螺纹一样，在螺纹磨床上可以通过变更交换齿轮（可在使用机床说明书中查得）来磨削各种螺距的螺纹。

2. 多线砂轮纵向磨削法（图 11-13b）

这种磨削螺纹的方法与单线砂轮磨削螺纹方法相似，但砂轮相对工件不需要倾斜角度。螺纹不是由一个砂轮齿切削的，而是将砂轮的齿修整成切削齿和精磨齿，这样在一次行程中可以将螺纹粗精磨全部完成。

这种磨削螺纹的方法，磨削效率高，适用于在批量生产中加工简单牙型、较低精度的螺纹工件。但因砂轮修整成形较困难，所以，大螺距和大螺纹升角的螺纹以及对牙

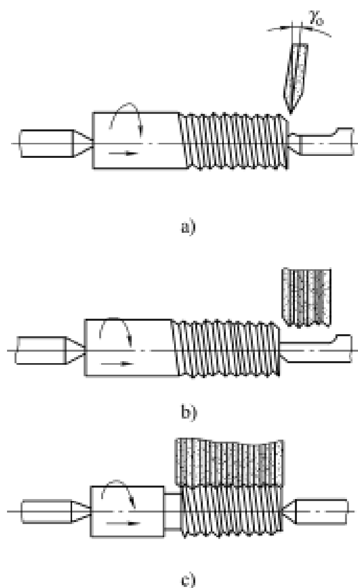


图 11-13　螺纹磨削方法

型精度要求高的螺纹不宜采用。

3. 多线砂轮切入磨削法（图 11-13c）

这种磨削螺纹的方法，要求砂轮齿距应等于工件的螺距，砂轮宽度要大于螺纹长度（2～3 个螺距即可）。磨削时工件旋转和轴向移动应同步，工件旋转与砂轮切入有一

定的联系，故工件转速不能过高，砂轮切深至要求后，工件再旋转一周半左右，即将工件磨好。

这种磨削螺纹的方法，适用于加工小螺距、小螺纹升角、低精度和短粗螺纹工件。使用这种方法，对螺纹磨床砂轮主轴和工件安装定位系统的刚性要求较高。

多线砂轮纵向进给时，可根据需要修整成三种不同的截面形状（表 11-8）。

表 11-8　采用多线砂轮纵向磨削法时砂轮的截面形状

砂轮形式	简　　图	特点分析
带主偏角砂轮		1）砂轮切入侧外圆修成 7°30′的主偏角，宽度不大于砂轮宽度的 1/2。当螺距 $P \geqslant 1.75$mm 或磨削烧伤时，主偏角可修成 5°15′ 2）磨削时逐步切入、分层切削、修正齿多，精度易于保证
间隔去齿砂轮		磨削效率高，切削液容易进入磨削区，散热快，可及时排出切屑

（续）

砂轮形式	简　　图	特点分析
三线砂轮		磨削量主要分布在第一粗切齿上，最后一齿为修正齿。砂轮可倾斜一个螺纹升角，以避免干涉

11.2.2　螺纹磨削砂轮的选择和修整

1. 砂轮的选择

（1）磨料　常用砂轮选用白刚玉（WA）和铬刚玉（PA）。

（2）粒度　为了保证砂轮有准确的截形，砂轮的粒度一般均在 F80 ~ F180。

（3）硬度　为了保证砂轮在比较长的时间内保证截形的准确性，并希望砂轮的自锐性较差，所以砂轮硬度一般均在 J、K、L、M 之间。

（4）结合剂　多选用陶瓷结合剂，因其化学性能稳定、耐热、抗酸碱、强度高、气孔率大，能较好地保证牙型。

螺纹磨削单线砂轮的选用可参照表 11-9。

2. 砂轮的修整

（1）手动修整砂轮夹具　手动修整砂轮夹具如图 11-14所示，螺纹半角由定位块 2 调整，由修整器 1 实现微进给。

表 11-9　螺纹磨削单线砂轮的选用

工件名称	材料及热处理硬度	螺距 P/mm 或粗、精磨	齿形表面粗糙度 Ra/μm	砂　　轮
机床梯形螺纹丝杠	9Mn2V、CrWMn 56HRC	粗磨	0.8	WA100～80J～K（V） WA120～100K～L（V）
		精磨	0.4	
精密滚珠丝杠	GCr15、GCr15SiMn 中频淬火 58～62HRC	半精磨圆弧螺纹	0.8	VA80J（V）大气孔
		精磨圆弧螺纹	0.4	WA100～80J～K（V）大气孔
60°小螺距长丝杠	9Mn2V、T10A 56HRC	粗磨	0.8	WA220K（V）
		精磨	0.8	WA500～150K～L（V）
丝锥	W18Cr4V 62～66HRC	$P \leqslant 0.8$	0.4	WA320～360M～N（V）
		$0.8 < P \leqslant 1.5$	0.4	WA50～120L～M（V）
		$P > 1.5$	0.4	WA180～120K～L（V）
螺纹塞规	CrMn、CrWMn 58～65HRC	$P \leqslant 0.8$	0.4～0.8	WA320～360M～P（V）
		$0.8 > P \leqslant 1.5$	0.4～0.8	WA240～320K～M（V）
		$P > 1.5$	0.4～0.8	WA120～320J～K（V）

（2）滚轮修整砂轮　滚轮可用高速钢、硬质合金或金刚石制成，修整时滚轮和砂轮对滚，如图 11-15 所示。

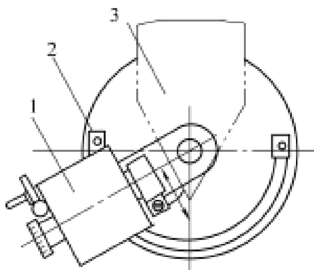


图 11-14　手动修整砂轮夹具

1—修整器　2—定位块　3—砂轮

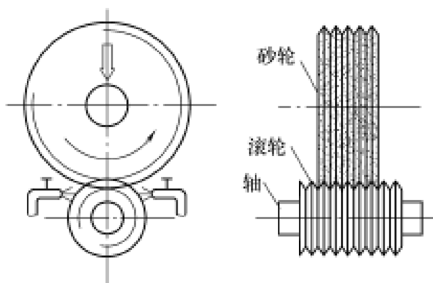


图 11-15　滚轮修整砂轮示意图

11.2.3　螺纹磨削的工艺要求

1）控制螺纹磨床的环境温度。标准恒温精度为 20℃ ±1℃，也可以将恒温基准温度 20℃ 上下调整 2 ~

3℃，但在一天内的温度波动不能超过 1℃。为便于精磨调试，工件计量的温度应与加工时的环境温度一致。

2）螺纹磨床应安装在有防振沟的独立地基上，并远离铁路、公路和一切产生振动的机械。螺纹磨床使用的动力电源应有稳压装置和突然断电的保护装置。

3）在精磨螺纹前，机床需空运转一段时间，使砂轮主轴、机床螺母丝杠副，以及工件均处于热平衡状态，避免热变形对磨削精度的影响。

4）单线砂轮磨削所使用的片状砂轮直径在 400 ~ 500mm 范围内，厚度为 10mm。要十分小心地安装和平衡砂轮，砂轮孔与法兰盘的配合间隙要适当并分布均匀，经过多次平衡后应逐步对称拧紧螺钉，压紧砂轮的端面，应采用耐油橡胶或硬纸板作衬垫，经过平衡后的砂轮不要再拆下，应一直使用到砂轮磨损极限。

5）主轴顶尖安装后的径向圆跳动≤2μm，60°锥面应取正偏差，工件中心孔与顶尖应为大端接触，接触面积为 70% ~80%。尾座顶尖与工件的压力要适当，并在磨削过程中随时调整，以消除工件热变形对尾座顶尖所产生的附加压力。

6）螺纹磨削中工件外圆是辅助基面，借助于中心架将径向切削力和工件应力消除，以减少磨削时的弯曲。中心架宜采用三点受力的封闭式结构，中心架的数量 $n = l/(10d)$（l 为工件长度，d 为工件直径）。

7）螺纹磨削时要求砂轮与工件的相对运动形成精确的螺旋面。传统的纯机械螺纹磨床通过选择计算螺距交换齿轮或更换螺母丝杠来实现所要求的螺距。要十分注意交

换齿轮的精度和啮合间隙，精度低、啮合间隙过大或过小均会引起传动链误差增大。

8）按照工件螺纹升角的大小和方向，精确调整砂轮主轴部件的倾角和方向，砂轮修整器的倾角和方向也必须与砂轮主轴部件一致。当倾角大于5°时，驱动砂轮电动机底座也必须做相应的调整。以上调整的精确度均影响砂轮与工件螺旋面的干涉程度，对于螺纹升角大的螺纹尤为重要。

9）精密螺纹的横向吃刀量一般为0.005～0.015mm。为减小由于热变形所引起的螺距误差，宜采用由尾座至头架方向进行磨削。为了使磨削余量均匀，应在螺纹的中间部位进行动态对刀。

11.3 用丝锥和板牙[一]切削螺纹

11.3.1 用丝锥攻螺纹

机用和手用丝锥是切削普通螺纹的常用标准丝锥。在国家工具标准中，将高速钢磨牙丝锥定名为机用丝锥，将碳素工具钢或合金工具钢（少量高速钢）滚牙（或切牙）丝锥定名为手用丝锥。实质上它们的工作原理和结构特点完全相同。

1. 攻螺纹工具

（1）铰杠　铰杠是手工攻螺纹时用的一种辅助工具。铰杠分为普通铰杠和丁字形铰杠两类。

1）普通铰杠。普通铰杠有固定铰杠和活铰杠两种（图11-16）。一般攻制M5以下的螺纹采用固定铰杠。

㊀　丝锥和板牙的结构、规格范围见第5章。

活铰杠的方孔尺寸可以调节，因此应用的范围比较广。常用活铰杠的柄长有 150～600mm 六种规格，以适应各种不同尺寸的丝锥，见表 11-10。

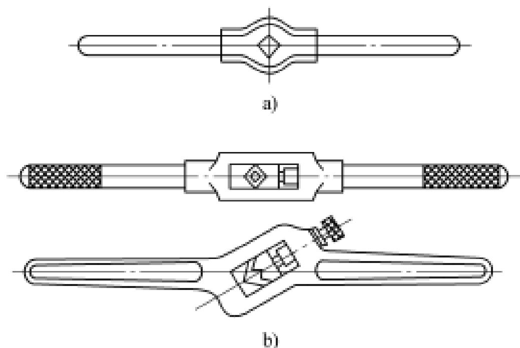


图 11-16　普通铰杠

a）固定铰杠　b）活铰杠

表 11-10　活铰杠的规格和适用范围

（单位：mm）

活铰杠规格	150	230	280	380	580	600
适用丝锥范围	M5～M8	M8～M12	M12～M14	M14～M16	M16～M22	M24以上

2）丁字形铰杠。丁字形铰杠适用于攻制工件台阶旁边或攻制机体内部的螺孔。丁字形铰杠有固定式和可调式两种（图 11-17）。丁字形可调式的铰杠是通过一个四爪

的弹簧夹头来夹持不同尺寸的丝锥，一般用于 M6 以下的丝锥。大尺寸的丝锥一般用固定式，通常是按实际需要制作专用铰杠。

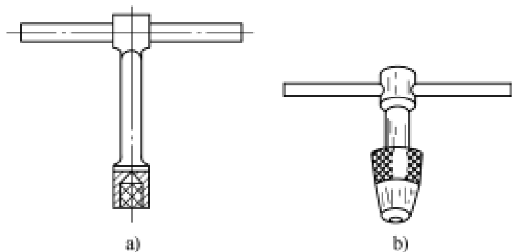


图 11-17　丁字形铰杠

a）固定式　b）可调式

（2）丝锥夹头　在钻床上攻螺纹时，要用丝锥夹头来装夹丝锥和传递攻螺纹转矩。常用丝锥夹头有以下两种：

1）快换夹头（JB/T 3489—2007）。快换夹头分两种规格：第一种规格钻孔范围为 ϕ1 ~ ϕ31.5mm，攻螺纹范围为 M3 ~ M24；第二种规格钻孔范围为 ϕ14.5 ~ ϕ50mm，攻螺纹范围为 M24 ~ M42。

2）丝锥夹头（JB/T 9939—2013）。丝锥夹头攻螺纹范围为 M2 ~ M8、M3 ~ M12、M5 ~ M16、M12 ~ M24、M14 ~ M33、M24 ~ M42、M42 ~ M64、M64 ~ M80 共八种规格。

（3）车床攻螺纹用工具　图 11-18 所示是车床攻螺纹

用工具。攻螺纹工具与车床套螺纹工具相似，只要将中间工具体改换成能装夹丝锥的工具体，即以方孔与丝锥柄配合。

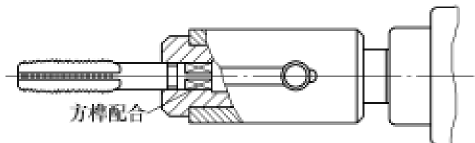


图 11-18　车床攻螺纹用工具

2. 攻螺纹切削液选择（表 11-11）

表 11-11　攻螺纹切削液选择

工件材料	切　削　液
结构钢、合金钢	硫化油；乳化液
耐热钢	60% 硫化油 +25% 煤油 +15% 脂肪酸 30% 硫化油 +13% 煤油 +8% 脂肪酸 +1% 氯化钡 +45% 水 硫化油 +15% ~20% 四氯化碳
灰铸铁	75% 煤油 +25% 植物油；乳化液；煤油
铜合金	煤油 + 矿物油；全系统消耗用油；硫化油
铝及合金	85% 煤油 +15% 亚麻油 50% 煤油 +50% 全系统消耗用油 煤油；松节油；极压乳化液

注：表内含量百分数均为质量分数。

3. 攻螺纹时应注意的事项

（1）手工攻螺纹

1）攻螺纹前工件的装夹位置要正确，应尽量使螺孔中心线置于水平或垂直位置，其目的是攻螺纹时便于判断丝锥是否垂直于工件平面。

2）攻螺纹前螺纹底孔的孔口要倒角，通孔螺纹两端孔口都要倒角。这样可以使丝锥容易切入，并防止攻螺纹后螺纹出孔口处崩裂。

3）在开始攻螺纹时，要尽量把丝锥放正，然后用手压住丝锥使其切入底孔，当切入 1 ~ 2 圈时，再仔细观察和校正丝锥位置，一般在切入 3 ~ 4 圈螺纹时，丝锥的位置应正确，这时应停止对丝锥施加压力，只须平稳地转动铰杠攻螺纹即可。

4）扳转铰杠要两手用力平衡，切忌用力过猛和左右晃动，防止牙型撕裂和螺孔扩大。

5）攻螺纹时，每扳转铰杠 1/2 ~ 1 圈，就应倒转 1/2 圈，使切屑碎断后容易排除。对塑性材料，攻螺纹时应经常保持足够的切削液。攻不通孔螺纹时，要经常退出丝锥，清除孔中的切屑，尤其当将要攻到孔底时，更应及时清除切屑，以免丝锥被轧住。攻通孔螺纹时，丝锥校准部分不应全部攻出头，否则会扩大或损坏孔口螺纹。

6）在攻螺纹过程中，换用另一支丝锥时，应先用手旋入已攻出的螺孔中，直到用手旋不动时，再用铰杠攻螺纹。

7）丝锥退出时，应先用铰杠平稳地反向转动，当能用手直接旋动丝锥时，应停止使用铰杠，以防铰杠带动丝锥退出时产生摇摆和振动，损坏螺纹的表面粗糙度。

（2）机动攻螺纹　机动攻螺纹要保持丝锥与螺孔的同轴度要求。当丝锥即将进入螺纹底孔时，进刀要慢，以防丝锥与螺孔发出撞击。在丝锥切削部分开始攻螺纹时，应在钻床进刀手柄上施加均匀的压力，帮助丝锥切入工件，当切削部分全部切入工件时，应立即停止对进刀手柄施加压力，而靠丝锥螺纹自然进给攻螺纹。机动攻通孔螺纹时，丝锥的校准部分不能全部攻出头，否则在反转退出丝锥时，会使螺纹产生烂牙。

攻螺纹时丝锥的切削速度见表11-12。

表11-12　攻螺纹时丝锥的切削速度

（单位：m/min）

螺孔材料	切削速度
一般钢材	6~15
调质钢或硬钢	5~10
不锈钢	2~7
铸铁	8~10

4. 攻螺纹前钻孔用麻花钻直径

（1）普通螺纹攻螺纹前钻孔用麻花钻直径（表11-13）

表 11-13　普通螺纹攻螺纹前钻孔用麻花钻直径

（GB/T 20330—2006）（单位：mm）

公称直径 *D*	螺距 *P*		钻头直径 *d*
1	粗	0. 25	0. 75
2	粗	0. 4	1. 6
3	粗	0. 5	2. 5
	细	0. 35	2. 65
4	粗	0. 7	3. 3
	细	0. 5	3. 5
5	粗	0. 8	4. 2
	细	0. 5	4. 5
6	粗	1	5
	细	0. 75	5. 2
8	粗	1. 25	6. 8
	细	1 0. 75	7 7. 2
10	粗	1. 5	8. 5
	细	1. 25 1 0. 75	8. 8 9 9. 2
12	粗	1. 75	10. 2
	细	1. 5 1. 25 1	10. 5 10. 8 11

（续）

公称直径 D	螺距 P		钻头直径 d
14	粗	2	11.9
	细	1.5 1.25 1	12.5 12.8 13
16	粗	2	14
	细	1.5 1	14.5 15
18	粗	2.5	15.4
	细	2 1.5 1	16 16.5 17
20	粗	2.5	17.4
	细	2 1.5 1	18 18.5 19
22	粗	2.5	19.5
	细	2 1.5 1	20 20.5 21
24	粗	3	21
	细	2 1.5 1	22 22.5 23
27	粗	3	24
	细	2 1.5 1	25 25.5 26

（续）

公称直径 *D*	螺距 *P*		钻头直径 *d*
30	粗	3. 5	26. 5
	细	3 2 1. 5 1	27 28 28. 5 29
33	粗	3. 5	29. 5
	细	3 2 1. 5	30 31 31. 5
36	粗	4	32
	细	3 2 1. 5	33 34 34. 5
39	粗	4	35
	细	3 2 1. 5	36 37 37. 5
42	粗	4. 5	37. 3
	细	4 3 2 1. 5	38 39 40 40. 5
45	粗	4. 5	40. 5
	细	4 3 2 1. 5	41 42 43 43. 5

（续）

公称直径 *D*	螺距 *P*		钻头直径 *d*
48	粗	5	43
	细	4 3 2 1.5	44 45 46 46.5
52	粗	5	47
	细	4 3 2 1.5	48 49 50 50.5

（2）英制螺纹钻底孔用麻花钻直径（表 11-14）

表 11-14　英制螺纹钻底孔用麻花钻直径

（GB/T 20330—2006）

	公称直径/in	每寸牙数	钻头直径/mm
统一制粗牙普通螺纹（UNC）	1/4	20	5.10
	5/16	18	6.60
	3/8	16	8.00
	7/16	14	9.40
	1/2	13	10.80
	9/16	12	12.20
	5/8	11	13.50
	3/4	10	16.50
	7/8	9	19.50
	1	8	22.25
	1⅛	7	25.00

（续）

	公称直径/in	每寸牙数	钻头直径/mm
统一制粗牙普通螺纹（UNC）	1¼	7	28.00
	1⅜	6	30.75
	1½	6	34.00
	1¾	5	39.50
	2	4½	45.00
统一制细牙普通螺纹（UNF）	1/4	28	5.50
	5/16	24	6.90
	3/8	24	8.50
	7/16	20	9.90
	1/2	20	11.50
	9/16	18	12.90
	5/8	18	14.50
	3/4	16	17.50
	7/8	14	20.40
	1	12	23.25
	1⅛	12	26.50
	1¼	12	29.50
	1⅜	12	32.75
	1½	12	36.00

注：1in＝25.4mm。

（3）55°管螺纹钻底孔用麻花钻直径（表 11-15）

表 11-15　55°管螺纹钻底孔用麻花钻直径

（GB/T 20330—2006）

	螺纹尺寸代号	每寸牙数	钻头直径/mm
55°非密封管螺纹	1/16	28	6.80
	1/8	28	8.80
	1/4	19	11.80
	3/8	19	15.25
	1/2	14	19.00
	5/8	14	21.00
	3/4	14	24.50
	7/8	14	28.25
	1	11	30.75
	1⅛	11	35.50
	1¼	11	39.50
	1½	11	45.00
	1¾	11	51.00
	2	11	57.00
统一制细牙普通螺纹	1/16	28	6.60
	1/8	28	8.60
	1/4	19	11.50
	3/8	19	15.00
	1/2	14	18.50
	3/4	14	24.00
	1	11	30.25
	1¼	11	39.00
	1½	11	45.00
	2	11	56.50

（4）60°圆锥管螺纹钻底孔用钻头直径见表 11-16。

表 11-16　60°圆锥管螺纹钻底孔用钻头直径

60°圆锥管螺纹		
螺纹尺寸代号	每英寸牙数	钻头直径/mm
1/8	27	8.6
1/4	18	11.1
3/8	18	14.5
1/2	14	17.9
3/4	14	23.2
1	11½	29.2
1¼	11½	37.9
1½	11½	43.9
2	11½	56

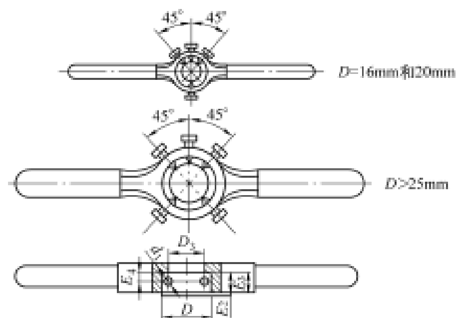
11.3.2　用板牙套螺纹

1. 套螺纹工具

（1）圆板牙架形式和尺寸（表 11-17）

表 11-17　圆板牙架形式和尺寸

（单位：mm）



（续）

<table>
<tr><th>D</th><th>E_2</th><th>E_3</th><th>E_4 $\left(\begin{matrix}0\\-0.2\end{matrix}\right)$</th><th>$D_3$</th><th>$d_1$</th></tr>
<tr><td>16</td><td>5</td><td>4.8</td><td>2.4</td><td>11</td><td>M3</td></tr>
<tr><td>20</td><td>7</td><td>6.5</td><td>3.4</td><td>15</td><td>M4</td></tr>
<tr><td>25</td><td>9</td><td>8.5</td><td>4.4</td><td>20</td><td rowspan="2">M5</td></tr>
<tr><td>30</td><td>11</td><td>10</td><td>5.3</td><td>25</td></tr>
<tr><td rowspan="2">38</td><td>10</td><td>9</td><td>4.8</td><td rowspan="2">32</td><td rowspan="3">M6</td></tr>
<tr><td>14</td><td>13</td><td>6.8</td></tr>
<tr><td>45</td><td>18</td><td>17</td><td>8.8</td><td>38</td></tr>
<tr><td rowspan="2">55</td><td>16</td><td>15</td><td>7.8</td><td rowspan="2">48</td><td rowspan="2">M8</td></tr>
<tr><td>22</td><td>20</td><td>10.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">65</td><td>18</td><td>17</td><td>8.8</td><td rowspan="2">58</td><td rowspan="6">M8</td></tr>
<tr><td>25</td><td>23</td><td>12.2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">75</td><td>20</td><td>18</td><td>9.7</td><td rowspan="2">68</td></tr>
<tr><td>30</td><td>28</td><td>14.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">90</td><td>22</td><td>20</td><td>10.7</td><td rowspan="2">82</td></tr>
<tr><td>36</td><td>34</td><td>17.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">105</td><td>22</td><td>20</td><td>10.7</td><td rowspan="2">95</td><td rowspan="4">M10</td></tr>
<tr><td>36</td><td>34</td><td>17.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">120</td><td>22</td><td>20</td><td>10.7</td><td rowspan="2">107</td></tr>
<tr><td>36</td><td>34</td><td>17.7</td></tr>
</table>

（2）车床套螺纹用工具　图 11-19 所示是车床套螺纹用工具。先将套螺纹工具安装在尾座套筒内，工具体 2 左端孔内装上板牙，并用螺钉 1 固定。套筒 4 上有一条长

槽，长槽内由销钉 3 插入工具体 2 中，防止套螺纹时转动。

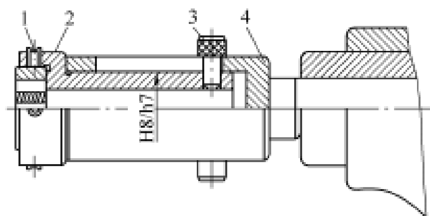


图 11-19 车床套螺纹用工具

1—螺钉 2—工具体 3—销钉 4—套筒

2. 工件圆杆直径的确定

工件圆杆直径可按下式计算：

$$D = d - 0.13P$$

式中 D——工件圆杆直径（mm）；

d——螺纹公称直径（mm）；

P——螺距（mm）。

套螺纹前工件圆杆直径也可由表 11-18 查出。

3. 套螺纹时应注意的事项

1）为了便于板牙切削部分切入工件并作正确的引导，在工件圆杆端部应有 15°～20°的倒角。

2）板牙端面与圆杆轴线应保持垂直。为了防止圆杆夹持偏斜和夹出痕迹，圆杆应装夹在用硬木制成的 V 形钳口或软金属制成的衬垫中。

3）在开始起套螺纹时，用一只手掌按住圆板牙中心，

表 11-18　套螺纹前工件圆杆直径　　（单位：mm）

粗牙普通螺纹				英制螺纹			圆柱管螺纹		
螺纹直径 *d*	螺距 *P*	圆杆直径 *D*		螺纹直径 /in	圆杆直径 *D*		螺纹尺寸代号	管子外径 *D*	
		最小直径	最大直径		最小直径	最大直径		最小直径	最大直径
M6	1	5.8	5.9	1/4	5.9	6	1/8	9.4	9.5
M8	1.25	7.8	7.9	5/16	7.4	7.6	1/4	12.7	13
M10	1.50	9.75	9.85	3/8	9	9.2	3/8	16.2	16.5
M12	1.75	11.75	11.9	1/2	12	12.2	1/2	20.5	20.8
M14	2	13.7	13.85	—	—	—	5/8	22.5	22.8
M16	2	15.7	15.85	5/8	15.2	15.4	3/4	26	26.3
M18	2.5	17.7	17.85	—	—	—	7/8	29.8	30.1
M20	2.5	19.7	19.85	3/4	18.3	18.5	1	32.8	33.1
M22	2.5	21.7	21.85	7/8	21.4	21.6	$1\frac{1}{8}$	37.4	37.7
M24	3	23.65	23.8	1	24.5	24.8	$1\frac{1}{4}$	41.4	41.7
M27	3	26.65	26.8	$1\frac{1}{4}$	30.7	31	$1\frac{3}{8}$	43.8	44.1
M30	3.5	29.6	29.8	—	—	—	$1\frac{1}{2}$	47.3	47.6
M36	4	35.6	35.8	$1\frac{1}{2}$	37	37.3	—	—	—
M42	4.5	41.55	41.75	—	—	—	—	—	—
M48	5	47.5	47.7	—	—	—	—	—	—
M52	5	51.5	51.7	—	—	—	—	—	—
M60	5.5	59.45	59.7	—	—	—	—	—	—
M64	6	63.4	63.7	—	—	—	—	—	—
M68	6	67.4	67.7	—	—	—	—	—	—

沿圆杆轴线施加压力，并转动板牙铰杠，另一支手配合顺向切进，转动要慢，压力要大。

4）当圆板牙切入圆杆 1～2 圈时，应目测检查和找正圆板牙的位置。当圆板牙切入圆杆 3～4 圈时，应停止施加压力，让板牙依靠螺纹自然引进，以免损坏螺纹和板牙。

5）在套螺纹过程中也应经常倒转 1/4～1/2 圈，以防切屑过长。

6）套螺纹应适当加注切削液，以降低切削阻力，提高螺纹质量和延长板牙寿命。套螺纹切削液选择可参照表 11-11。

11.4 螺纹的检测

11.4.1 三针测量方法

三针测量方法是测量外螺纹中径的一种比较精密的方法，适用于精度较高的普通螺纹、梯形螺纹及蜗杆等中径的测量。测量时把三根直径相等的量针放置在螺纹相对应的螺旋槽中，用千分尺量出两边量针顶点之间的距离 M，如图 11-20 所示。

1. M 值计算公式

$$M = d_2 + d_D\left[1 + \frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}}\right] - \frac{P}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$$

式中 M——千分尺测得的尺寸（mm）；

d_2——螺纹中径（mm）；

d_D——量针直径（mm）；

α——工件牙型角（°）；

P——工件螺距（mm）。

如果已知螺纹牙型角，也可用表 11-19 所列简化公式计算。

2. 量针直径 d_D 的计算公式

$$d_D = \frac{P}{2\cos\frac{\alpha}{2}}$$

如果已知螺纹牙型角，也可用表 11-20 所列简化公式计算。

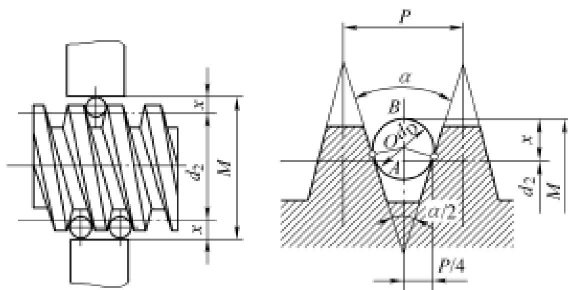


图 11-20　三针测量方法

表 11-19　三针测量方法 *M* 值计算的简化公式

螺纹牙型角 α/（°）	简　化　公　式
60	$M = d_2 + 3d_D - 0.866P$
55	$M = d_2 + 3.166d_D - 0.960P$
30	$M = d_2 + 4.864d_D - 1.866P$
40	$M = d_2 + 3.924d_D - 1.374P$
29	$M = d_2 + 4.994d_D - 1.933P$

表 11-20　三针测量方法量针直径计算的简化公式

螺纹牙型角 α/（°）	简　化　公　式
60	$d_D = 0.577P$
55	$d_D = 0.564P$
30	$d_D = 0.518P$
40	$d_D = 0.533P$
29	$d_D = 0.516P$

3. 测量普通螺纹时的 M 值（表 11-21）

表 11-21　测量普通螺纹时的 M 值

（单位：mm）

螺纹直径 d	螺　　距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
1	0.2	0.118	1.051
1	0.25	0.142	1.047
1.2	0.2	0.118	1.251
1.2	0.25	0.142	1.247
1.4	0.2	0.118	1.451
1.4	0.3	0.170	1.455
1.7	0.2	0.118	1.751
1.7	0.35	0.201	1.773
2	0.25	0.142	2.047
2	0.4	0.232	2.090

（续）

螺纹直径 d	螺　　距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
2. 3	0. 25	0. 142	2. 347
2. 3	0. 4	0. 232	2. 390
2. 6	0. 35	0. 201	2. 673
2. 6	0. 45	0. 260	2. 698
3	0. 35	0. 201	3. 073
3	0. 5	0. 291	3. 115
3. 5	0. 35	0. 201	3. 573
4	0. 5	0. 291	4. 115
4	0. 7	0. 402	4. 145
5	0. 5	0. 291	5. 115
5	0. 8	0. 461	5. 171
6	0. 75	0. 433	6. 162
6	1	0. 572	6. 200
8	0. 5	0. 291	8. 115
8	1	0. 572	8. 200
8	1. 25	0. 724	8. 278
9	0. 35	0. 201	9. 073
9	0. 5	0. 291	9. 116
10	0. 35	0. 204	10. 073
10	0. 5	0. 291	10. 115

（续）

螺纹直径 d	螺　　距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
10	1	0. 572	10. 200
10	1. 5	0. 866	10. 325
11	0. 35	0. 201	11. 073
11	0. 5	0. 291	11. 115
12	0. 5	0. 291	12. 115
12	0. 75	0. 433	12. 162
12	1. 25	0. 724	12. 278
12	1. 75	1. 008	12. 372
14	0. 5	0. 291	14. 115
14	0. 75	0. 443	14. 162
14	1. 5	0. 866	14. 325
14	2	1. 157	14. 440
16	0. 5	0. 291	16. 115
16	0. 75	0. 433	16. 162
16	1. 5	0. 866	16. 325
16	2	1. 157	16. 440
18	0. 5	0. 291	18. 115
18	0. 75	0. 433	18. 162
18	1. 5	0. 866	18. 325
18	2. 5	1. 441	18. 534
20	0. 5	0. 291	20. 115
20	0. 75	0. 433	20. 162
20	1. 5	0. 866	20. 325
20	2. 5	1. 441	20. 534
22	0. 5	0. 291	22. 115

（续）

螺纹直径 d	螺　　距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
22	0.75	0.433	22.162
22	1.5	0.866	22.325
22	2.5	1.441	22.534
24	0.75	0.433	24.162
24	1	0.572	24.200
24	1.5	0.866	24.325
24	2	1.157	24.440
24	3	1.732	24.649
27	0.75	0.433	27.162
27	1	0.572	27.200
27	1.5	0.866	27.325
27	2	1.157	27.440
27	3	1.732	27.649
30	0.75	0.433	30.162
30	1	0.572	30.200
30	1.5	0.866	30.325
30	2	1.157	30.440
30	3.5	2.020	30.756
33	0.75	0.433	33.162
33	1	0.572	33.200
33	1.5	0.866	33.325
33	2	1.157	33.440
36	1	0.572	36.200
36	1.5	0.866	36.325
36	2	1.157	36.440

（续）

螺纹直径 d	螺　　距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
36	3	1. 732	36. 649
36	4	2. 311	36. 871
39	1	0. 572	39. 200
39	1. 5	0. 866	39. 325
39	2	1. 157	39. 440
39	3	1. 732	39. 649
42	0. 75	0. 433	42. 162
42	1	0. 572	42. 200
42	1. 5	0. 866	42. 325
42	2	1. 157	42. 440
42	3	1. 732	42. 649
42	4. 5	2. 595	42. 966
45	0. 75	0. 433	45. 162
45	1	0. 572	45. 200
45	1. 5	0. 866	45. 325
45	2	1. 157	45. 440
45	3	1. 732	45. 649
48	0. 75	0. 433	48. 162
48	1	0. 572	48. 200
48	1. 5	0. 866	48. 325
48	2	1. 157	48. 440
48	3	1. 732	48. 649
48	5	2. 866	49. 080
52	0. 75	0. 433	52. 162
52	1	0. 572	52. 200

（续）

螺纹直径 d	螺　　距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
52	1.5	0.866	52.325
52	2	1.157	52.440
52	3	1.732	52.649
56	1	0.572	56.200
56	1.5	0.866	56.325
56	2	1.157	56.440
56	3	1.732	56.649
56	4	2.311	56.871
56	5.5	3.177	57.196
60	1	0.572	60.200
60	1.5	0.866	60.325
60	2	1.157	60.440
60	3	1.732	60.649
60	4	2.311	60.871

注：当螺距 P = 1mm 时，计算得到的量针直径 d_D = 0.577mm，但实际使用的量针直径为 0.572mm，下同。

4. 测量梯形螺纹时的 *M* 值（表 11-22）

表 11-22　测量梯形螺纹时的 *M* 值

（单位：mm）

螺纹直径 d	螺　　距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
10	1.5	0.796	10.230
10	2	1.008	10.171
12	2	1.008	12.171
12	3	1.732	13.326

（续）

螺纹直径 *d*	螺　　距 *P*	量针直径 d_D	三针测量值 *M*
14	2	1. 008	14. 171
14	3	1. 732	15. 326
16	2	1. 008	16. 171
16	4	2. 020	16. 361
18	2	1. 008	18. 171
18	4	2. 020	18. 361
20	2	1. 008	20. 171
20	4	2. 020	20. 361
22	3	1. 732	23. 325
22	5	2. 595	22. 791
22	8	4. 400	24. 472
24	3	1. 732	25. 326
24	5	2. 595	24. 791
24	8	4. 400	26. 472
26	3	1. 732	27. 325
26	5	2. 595	26. 791
26	8	4. 400	28. 472
28	3	1. 732	29. 376
28	5	2. 595	28. 791
28	8	4. 400	30. 472
30	3	1. 732	31. 326
30	6	3. 177	31. 256
30	10	5. 180	31. 535
32	3	1. 732	33. 326
32	6	3. 177	33. 256

（续）

螺纹直径 d	螺　　距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
32	10	5. 180	33. 535
36	3	1. 732	37. 326
36	6	3. 177	37. 256
36	10	5. 180	37. 535
40	3	1. 732	41. 326
40	7	3. 550	40. 705
40	10	5. 180	41. 535
44	3	1. 732	45. 326
44	7	3. 550	44. 705
44	12	6. 216	45. 842
48	3	1. 732	49. 326
48	8	4. 400	50. 472
48	12	6. 216	49. 843
50	3	1. 732	51. 326
50	8	4. 400	52. 473
50	12	6. 216	51. 842
52	3	1. 732	53. 326
52	8	4. 400	54. 473
52	12	6. 216	53. 842
55	3	1. 732	56. 326
55	9	4. 773	56. 920
55	14	7. 252	57. 149
60	3	1. 732	61. 326
60	9	4. 773	60. 273
60	14	7. 252	62. 149

注：当 $P \geqslant 10$mm 时，表中所列的量针直径是指最佳直径。

5. 测量寸制螺纹时的 *M* 值（表 11-23）

表 11-23　测量寸制螺纹时的 *M* 值

螺纹直径 d /in	每英寸的牙数	量针直径 d_D /mm	三针测量值 M/mm
3/16	24	0.572	4.880
1/4	20	0.724	6.609
5/16	18	0.796	8.194
3/8	16	0.866	9.730
1/2	12	1.157	12.974
5/8	11	1.302	16.301
3/4	10	1.441	19.546
7/8	9	1.591	22.741
1	8	1.732	25.800
$1^1/8$	7	2.020	29.161
$1^1/4$	7	2.020	32.336
$1^1/2$	6	2.311	38.640
$1^3/4$	5	2.886	45.455
2	$4^1/2$	3.177	51.822
$2^1/4$	4	3.580	58.318
$2^1/2$	4	3.468	64.668
$2^3/4$	$3^1/2$	4.400	71.185
3	$3^1/2$	4.091	77.535
$3^1/4$	$3^1/4$	4.400	83.969
$3^1/2$	$3^1/4$	4.400	90.319
$3^3/4$	3	4.773	96.806
4	3	4.773	103.153

11.4.2 单针测量方法

螺纹中径的测量，除三针测量方法外还有单针测量方法，如图 11-21 所示。其特点是用一根量针，测量比较简便，计算公式如下：

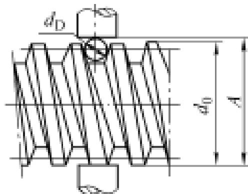


图 11-21 单针测量方法

$$A = \frac{M + d_0}{2}$$

式中 A——单针测量时千分尺上测得的尺寸（mm）；

d_0——螺纹外径的实际尺寸（mm）；

M——三针测量值（mm）。

11.4.3 综合测量方法

综合测量螺纹的方法是采用螺纹量规。普通螺纹量规（GB/T 10920—2008）适用于检验 GB/T 196—2003《普通螺纹 基本尺寸》和 GB/T 197—2003《普通螺纹 公差》所规定的螺纹。根据使用性能分为工作螺纹量规、验收螺纹量规和校对螺纹量规。

1. 普通螺纹量规名称及适用公称直径的范围（表 11-24）

表 11-24　普通螺纹量规名称及适用公称直径的范围

（GB/T 10920—2008）（单位：mm）

普通螺纹量规名称		适用公称直径范围
内螺纹用螺纹量规	锥度锁紧式螺纹塞规	1～100
	双头三牙锁紧式螺纹塞规	40～62
	单头三牙锁紧式螺纹塞规	40～120
	套式螺纹塞规	40～120
	双柄式螺纹塞规	>120～180
外螺纹用螺纹量规	整体式螺纹环规	1～120
	双柄式螺纹环规	>120～180

2. 梯形螺纹量规名称及适用公称直径的范围（表 11-25）

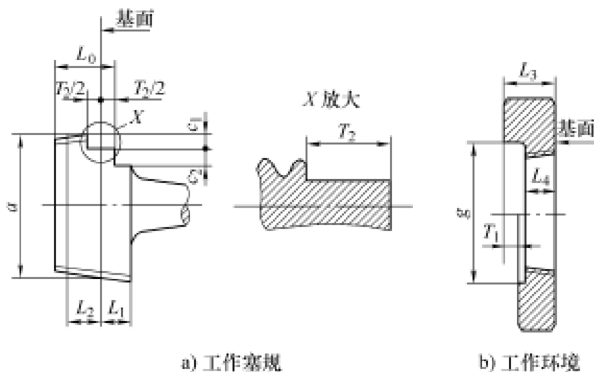
表 11-25　梯形螺纹量规名称及适用公称直径的范围

（GB/T 10920—2008）（单位：mm）

梯形螺纹量规名称	适用公称直径范围
双头锥度锁紧式螺纹塞规	8～50
单头锥度锁紧式螺纹塞规	50～100
双头三牙锁紧式螺纹塞规	50～60
单头三牙锁紧式螺纹塞规	60～100
双柄式螺纹塞规	100～140
整体式螺纹环规	8～100
双柄式螺纹环规	100～140

3. 55°密封管螺纹量规（表 11-26）

表 11-26　圆锥螺纹工作塞规和工作环规的形式和尺寸
（JB/T 10031—1999）



a) 工作塞规　　　b) 工作环境

螺纹量规名称	适用范围（尺寸代号）
工作塞规 工作环规	1/16 ~ 6

第 12 章　齿轮加工技术

12.1　成形法铣削齿轮[㊀]

12.1.1　用成形铣刀铣直齿圆柱齿轮

1. 铣刀号数的选择

齿轮铣刀将同一模数的齿轮按齿数划分为一组 8 把或一组 15 把两种。通常模数 $m=1\sim8$mm 时为一组 8 把，模数 $m=9\sim16$mm 时为一组 15 把。

1）一组 8 把模数铣刀和径节铣刀所铣的齿轮齿数见表 12-1。

表 12-1　一组 8 把模数铣刀和径节铣刀所铣的齿轮齿数

所铣齿轮齿数		12～13	14～16	17～20	21～25	26～34	35～54	55～134	135～齿条
铣刀号数	模数铣刀	1	2	3	4	5	6	7	8
	径节铣刀	8	7	6	5	4	3	2	1

2）一组 15 把模数铣刀所铣的齿轮齿数见表 12-2。

2. 铣削过程

以 $m=3$mm、$z=24$ 直齿圆柱齿轮为例，其铣削过程如下：

1）铣刀的选定。已知 $m=3$mm，$z=24$，按表 12-1，对应的所铣齿轮齿数 21～25，应选用 4 号铣刀。

㊀ 盘形齿轮铣刀、盘形锥齿轮铣刀的形式和基本尺寸见第 5 章。

表 12-2　一组 15 把模数铣刀所铣的齿轮齿数

铣刀号数	所铣齿数	铣刀号数	所铣齿数
1	12	5	26～29
$1\frac{1}{2}$	13	$5\frac{1}{2}$	30～34
2	14	6	35～41
$2\frac{1}{2}$	15～16	$6\frac{1}{2}$	42～54
3	17～18	7	55～79
$3\frac{1}{2}$	19～20	$7\frac{1}{2}$	80～134
4	21～22	8	135～齿条
$4\frac{1}{2}$	23～25		

2）分度头的计算。按单式分度法计算公式计算分度头手柄的转数 n，即

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{24} = 1\frac{16}{24}$$

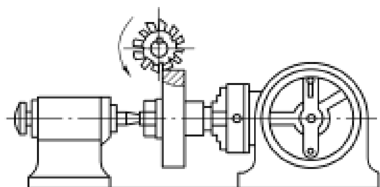
即铣完一齿后，分度头手柄摇 1 转，再在 24 的孔圈上转过 16 个孔距。

3）工件的装夹与找正。若所加工的是直齿圆柱齿轮轴，一般用分度头夹一端，尾座顶尖顶一端（图12-1）。若加工的是直齿圆柱齿轮，则应配制相应的心轴，将工件锁紧在心轴上后，同样用分度头夹心轴一端，尾座顶尖顶一端，但应保证加工时进、退出刀的余量。

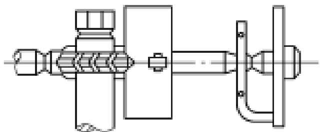
装夹后应对工件进行下列找正：

① 找正工件的径向与轴向的圆跳动。

② 找正分度头与尾座顶尖间的等高（即工件的等高）。


图 12-1 铣直齿圆柱齿轮

③ 找正工件对铣床升降导轨的平行。


图 12-2 用切痕法对中

4）对刀及背吃刀量的控制。加工齿轮时，刀具对正工件中心一般采用切痕法（图 12-2）。将工作台上升，使齿坯接近铣刀，然后凭目测使铣刀廓形对称线大致对准齿坯中心，再开动机床使铣刀旋转并逐渐升高工作台，使铣刀的圆周切削刃和齿坯微微接触，同时来回移动横向工作台。这时齿坯上出现了一个椭圆形刀痕，接着调整铣刀廓形对称线对准椭圆中心即可。刀具对准后，应锁紧横向工作台。

背吃刀量应按 $2.25m$ 计算，即 $2.25\times3=6.75m$。一般齿轮加工，为保证齿面的表面粗糙度，均分粗铣、精铣两次进行。一般粗铣后要留量 1.5～2mm 再精铣，所以该例中铣第一刀应切深 4.75～5mm 为好，在加工第二刀时，应对好齿轮所要求的尺寸后，再铣削完成。

12.1.2 用成形铣刀铣削直齿条、斜齿条

齿条分直齿条和斜齿条两种，斜齿条按齿的偏斜方向

又分右斜（旋）和左斜（旋）两种。

1. 铣削直齿条

齿条是基圆直径无限大的齿轮，因此，加工齿条的铣刀刀号应选择 8 号铣刀。

铣削直齿条时，铣刀应在齿条起始位置上对刀后加工第一条齿槽，齿槽深度基本上按 $2.25m$ 计算调整。

铣削直齿条方法见表 12-3。

2. 铣削斜齿条

斜齿条的各部几何尺寸计算与斜齿圆柱齿轮相同。其对刀、齿槽深度计算调整均与直齿条铣削相同。铣削斜齿条方法见表 12-4。

12.1.3　用成形铣刀铣斜齿圆柱齿轮

1. 选择铣刀号数用当量齿数的计算

$$z' = \frac{z}{\cos^3\beta}$$

式中　z'——斜齿轮当量齿数；

z——斜齿轮齿数；

β——斜齿轮螺旋角。

例 1　已知斜齿圆柱齿轮 $z = 24$，$m_n = 4\text{mm}$，$\beta = 45°$，求加工时应采用的铣刀号数。

解：　$$z' = \frac{z}{\cos^3\beta} = \frac{24}{\cos^3 45°} = \frac{24}{0.707^3} \approx 68$$

查表 12-1 便知用 7 号铣刀。

表 12-3　铣削直齿条方法

形式	图　　示	采用方法的说明
短齿条		横向移距方法。即用铣床横向分度盘控制齿距。其分度盘转动格数 n 计算如下 $n=\pi m/F$（格） 式中　m——齿条模数； F——分度盘每格的移值量
		用大量程百分表移距方法。将百分表夹固在工作台横向导轨上，使百分表侧头和横向工作台相接触，然后可按计算出的齿距进行分齿，这种方法分齿准确、简便、实用

（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
短齿条		分度盘移距方法。此方法是将分度板套在铣床工作台传动丝杠上，并将分度板固定，再把分度手柄装在传动丝杠端部，移距时只要转动分度手柄即可。其计算如下： $$n=\frac{\pi m}{P}$$ 式中　n——分度手柄应转过的转数； m——齿条模数（mm）； P——铣床工作台传动丝杠螺距（mm）
长齿条		在立铣上用指形齿轮铣刀加工长齿条。装夹工件时，应保证齿条侧面与铣床工作台纵向进给方向的平行度及齿顶面与工作台面的平行度

（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
长齿条		用横向刀架方法，即用一个横向托架通过一对螺旋齿轮使刀轴转过90°，使铣刀的旋转平面和齿条的齿槽一致

（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
长齿条	万能铣头 铣头主轴 齿轮 专用铣头 铣刀	用万能铣头改装成横切专用铣刀装置的方法

（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
长齿条		分度头侧轴交换齿轮方法。当铣床工作台纵向丝杠螺距 $P_{丝}=6\text{mm}$，被加工齿条模数为 m，小齿轮 $z_1=22$，大齿轮 $z_2=42$。手柄的回转数为 n，则 $\pi m=n\dfrac{z_1}{z_2}P_{丝}=n\times\dfrac{22}{42}\times 6=n\times\dfrac{22}{7}$ 取 $\pi\approx\dfrac{22}{7}$，则 $m=n$ 所以分度头手柄的回转数等于被加工齿条的模数。因此在分齿时，只要按被加工齿条的模数 m 转动分度头手柄即可 若铣床工作台纵向丝杠 $P_{丝}=4\text{mm}$，则需把大齿轮齿数改为 $z_2=28$

表 12-4　铣削斜齿条方法

形式	图　　示	采用方法的说明
短齿条		工件偏斜横向移距方法。找正时，把工件的侧面调整到与横向进给方向成 β 角（右旋齿条应逆时针转过 β 角，左旋齿条应顺时针转过 β 角）。移距尺寸为斜齿条的法向齿距，即：$p_n = \pi m_n$

（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
长齿条		工件偏斜纵向移距方法。当加工 β 角较小、长度又不太长的斜齿条，可将工件偏斜装夹。找正时，可把工件的侧面调整到与纵向进给方向成一 β 角。用纵向移距方法进行加工，移距尺寸仍为斜齿条法向齿距，即：$p_n = \pi m_n$
		工作台扳转角度纵向移距方法。装夹时，先找正工件侧面与纵向进给方向平行，再按图样要求将工作台扳转一个 β 角。由于这种方法移距方向与齿条的端面齿距方向一致，所以移距尺寸为斜齿条的端面齿距，即：$p_t = \dfrac{\pi m_n}{\cos\beta}$

2. 铣斜齿圆柱齿轮交换齿轮计算

传动比

$$i = \frac{40P_{丝}}{P_h} = \frac{40P_{丝}}{d'\pi\cot\beta}$$

$$= \frac{40P_{丝}}{m_t z\pi\cot\beta} = \frac{40P_{丝}\sin\beta}{\pi m_n z}$$

$$= \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}$$

式中　40——分度头定数；

$P_{丝}$——工作台丝杠螺距（mm）；

P_h——工件导程（mm）；

d'——齿轮节圆直径（mm）；

β——齿轮螺旋角（°）；

m_t——端面模数（mm）；

m_n——法向模数（mm）；

z——齿数。

例 2　加工一齿轮，$z = 30$，$m_n = 4\text{mm}$，$\beta = 18°$，所用分度头定数为 40，工作台丝杠螺距 $P_{丝} = 6\text{mm}$，求传动比 i。

解： 传动比 $i = \dfrac{40P_{丝}\sin\beta}{\pi m_n z} = \dfrac{40\times6\times\sin18°}{3.1416\times4\times30} \approx 0.19673$

查表 12-22，得

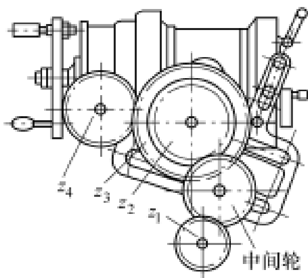
$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{55\times25}{70\times100}$$

3. 工作台倾斜角度㊀

用盘形铣刀在万能铣床上铣削螺旋槽时，为了使螺旋槽方向和刀具旋转平面相一致，必须将万能铣床纵向工作台在水平面内倾斜一个角度。工作台旋转角度的大小和方向与工件的螺旋角有关，即铣右旋斜齿圆柱齿轮时，工作台逆时针转动一个螺旋角 β；铣左旋斜齿圆柱齿轮时，工作台顺时针转动一个螺旋角 β。

4. 工件旋转方向和工作台转动方向及中间轮装置（表 12-5）

表 12-5　工件旋转方向和工作台转动方向及中间轮装置



被加工齿轮螺旋方向	工作台转动方向和工件的旋转方向[①]	交换齿轮及中间轮	
		两对交换齿轮	三对交换齿轮
右旋 左旋	逆时针转动 顺时针转动	不加中间轮 加一个中间轮	加一个中间轮 不加中间轮

① 对着分度头主轴方向看。

㊀ 工作台倾斜角度的形式参见图 7-34。

5. 铣削时应注意的几点

1）铣削斜齿圆柱齿轮时，分度头手柄定位销要插入孔盘中，使工件随着纵向工作台的进给而连续转动，这时应松开分度头主轴紧固手柄和孔盘紧固螺钉。

2）当铣完一个齿槽后，停机将工作台下降一点后才能退刀，否则铣刀会擦伤已加工好的表面。铣下一个齿槽时再将工作台升到原来的位置。切记退刀要用手动。

3）当铣完一个齿槽后，按上述方法退刀后，将分度头手柄定位销从分度盘孔中拔出进行分度，然后再将定位销插好，重新上升工作台至原背吃刀量后，加工下一个齿槽。切记由于分度头手柄定位销从分度盘孔中拔出后，切断了工件旋转和工作台的进给运动的联系，所以这时绝对禁止移动工作台。

12.1.4 用成形铣刀铣直齿锥齿轮

在普通铣床上铣锥齿轮，要用专门加工锥齿轮的盘形铣刀，刀上印有“⏢”标记（图 12-3）。锥齿轮铣刀与圆柱齿轮盘形齿轮铣刀一样每组 8 把，其铣刀刀号及加工范围也相同。

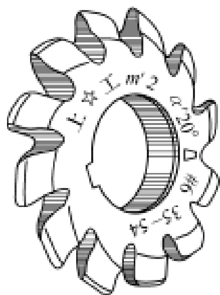


图 12-3 直齿锥齿轮盘铣刀

锥齿轮铣刀的齿形曲线按大端齿形设计制造，大端齿形与当量圆柱齿轮的齿形相同（图 12-4），而铣刀的厚度按小端设计制造，并且

比小端的齿槽略小一些。因此，选择直齿锥齿轮铣刀时必须用当量齿数。

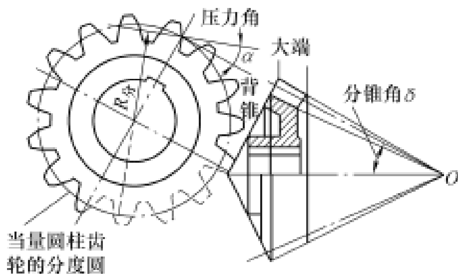


图 12-4　选择锥齿轮铣刀的当量圆柱齿轮

1. 选择铣刀号数用当量齿数的计算公式

$$z' = \frac{z}{\cos\delta}$$

式中　z'——当量齿数；

z——直齿锥齿轮齿数；

δ——直齿锥齿轮分锥角（°）。

例 3　要加工一锥齿轮，$z=39$，$\delta=45°$，求应选用的铣刀号数。

解： $z' = \frac{z}{\cos\delta} = \frac{39}{\cos45°} = \frac{39}{0.707} \approx 55$

查表 12-1 便知用 7 号铣刀。

2. 铣削方法

1）分度头倾斜角度计算。分度头倾斜角度等于根锥母线与锥齿轮轴线的夹角 δ_t（根圆锥角），即切削角（图

12-5）。

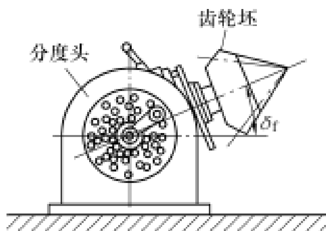


图 12-5　分度头倾斜角度示意图

分度头倾斜角度 δ_f 的计算：

$$\delta_f = \delta - \theta_f$$

式中　δ——分锥角（°）；

θ_f——齿根角（°）。

2）横向偏移量 s 的计算：

$$s = \frac{mb}{2R}$$

式中　m——模数（mm）；

b——齿面宽（mm）；

R——外锥距（mm）。

例 4　要加工一个直齿锥齿轮，$m = 3$mm，$z = 25$，分锥角 $\delta = 45°$，齿宽 $b = 18$mm，外锥距 $R = 53$mm，求横向移位置 s。

解：

$$s = \frac{mb}{2R} = \frac{3 \times 18}{2 \times 53}\text{mm}$$
$$= 0.53\text{mm}$$

3）铣削过程（图 12-6）。将铣刀对准工件中心，按大端模数，铣至全齿深 $h=2.2m$，铣出全部直齿槽，并测出大端齿厚。然后铣大端两侧余量。图 12-6 所示是铣大端左侧余量。先按图 12-6a 中箭头方向将工作台移动一个距离 s（横向移位量），再按图 12-6b 中箭头方向转动分度头（工作台移动方向与分度头转动方向相反），使铣刀左侧刃刚刚接触小端齿槽左侧后铣一刀（图 12-6c）。立即用齿厚游标卡尺测量大端的齿厚，这时的尺寸 $=\frac{1}{2}\times$（开出直槽后的大端齿厚 − 图样要求的齿厚）+ 图样要求齿厚。如果还有余量就应把分度头再转 1～2 个孔。铣大端右侧时，按上面移动的 s 值和分度头转数值反方向加倍摇好。

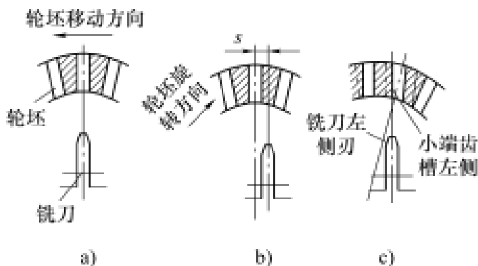


图 12-6　铣削过程

这样加工出的齿轮，小端齿顶、齿根稍厚一些，若啮合要求较高，应对齿顶进行修锉。

12.2 用飞刀展成铣蜗轮

蜗轮、蜗杆啮合时，沿中心平面切面内的啮合相当于齿轮、齿条的啮合。蜗杆转动一圈，相当于齿条沿轴向移动一个齿距（单头蜗杆）或几个齿距（多头蜗杆），蜗轮相应地转过一个齿或几个齿。蜗杆继续转动，蜗轮也继续转过相应的齿数，即蜗轮做旋转运动时，蜗杆相似地做齿条的推进运动。而飞刀就相当于蜗杆上齿的一部分，利用飞刀做旋转运动就能进行切削。根据这一原理，可以利用飞刀展成铣蜗轮。

12.2.1 铣削方法

如图 12-7 所示，首先将立铣头倾斜一个角度，使刀杆轴线与水平面的夹角等于蜗轮的螺旋角，即等于蜗杆的螺旋升角。为了得到连续展成运动，必须将纵向工作台丝杠与分度头配轮轴之间用交换齿轮连接起来。在纵向工作台对应飞刀完成切向进给运动的同时，通过交换齿轮使蜗轮完成相应的转动。

由于飞刀转动与工件转动之间没有固定联系，因而不能连续分齿，要在展成切出一个齿后，将刀头转向上方，工作台退回原位，用手摇动分度头手柄，分过一齿后再铣下一个齿。

加工前可采用图 12-8 所示对刀方法，边调整工作台上、下位置，边用手转动刀杆，使刀尖能够均匀接触蜗轮凹圆弧两尖角 A、B 两点。

径向背吃刀量等于蜗轮齿全高 h_2，是通过横向工作台进给来完成的，蜗轮加工根据模数大小，一般分为 2 ~ 3 次进给完成。

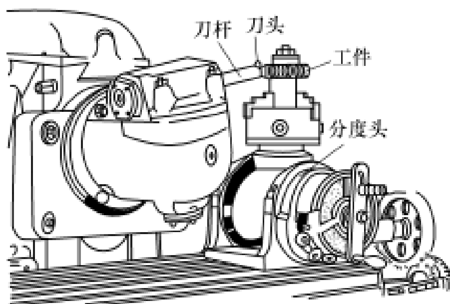


图 12-7　飞刀展成铣削蜗轮

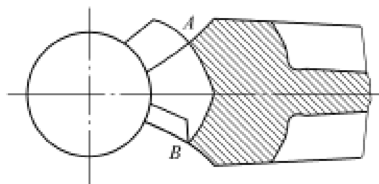


图 12-8　飞刀对刀示意图

用这种方法（连续展成、断续分齿法）加工出的蜗轮，是斜直槽而不是螺旋槽，因而当螺旋角较大时，啮合性能较差。

12.2.2　交换齿轮计算

（1）展成交换齿轮计算　根据展成原理，工件转过一

个齿（1/z 转），工作台要相应地在纵向移动一个蜗轮齿距（蜗轮周节 = πm_x）的距离，从而可以导出交换齿轮计算公式为

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40P_{丝}}{z\pi m_x} = \frac{40P_{丝}}{\pi d_2}$$

式中　40——分度头定数；

$P_{丝}$——机床丝杠螺距（mm）；

m_x——端面模数（mm）；

d_2——蜗轮节圆直径（mm）。

（2）分齿计算　根据蜗轮的齿数 z_2，利用公式 $n = \frac{40}{z}$ 算出分度头手柄转数 n。

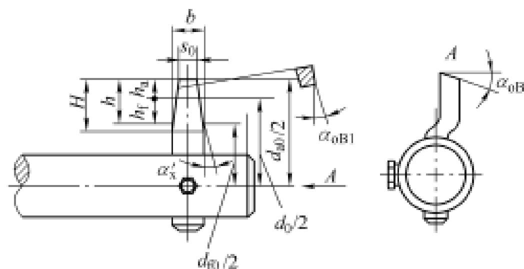
12.2.3　铣头倾斜角度方向、工件旋转方向及中间轮装置（表 12-6）

表 12-6　铣头倾斜角度方向、工件旋转方向及中间轮装置

刀具位置	铣头倾斜角度方向		工作台运动方向	工件旋转方向	两对交换齿轮	三对交换齿轮
	右旋蜗轮	左旋蜗轮	右旋蜗轮和左旋蜗轮一致			
在工件外边	顺时针	逆时针	←	逆时针	不加中间轮	加一中间轮
在工件里边	逆时针	顺时针	←	顺时针	加一中间轮	不加中间轮

12.2.4 飞刀部分尺寸计算公式（表 12-7）

表 12-7 飞刀部分尺寸计算公式



各部名称	计算公式	备注
飞刀节圆直径	$d_0=\dfrac{d_1}{\cos\beta}+am_x$	d_1 是蜗杆节圆直径；β 是螺旋角；当 $\beta=3°\sim20°$ 时，取 $a=0.1\sim0.3$
齿顶高	$h_a=fm_x+cm_x+0.1m_x$	f 是蜗轮齿顶高系数；cm_x 是标准径向间隙；$0.1m_x$ 是刃磨量；m_x 是蜗杆轴向模数
齿根高	$h_f=fm_x+cm_x$	
全齿高	$h=h_a+h_f$	
飞刀节圆齿厚	$s_0=\dfrac{\pi m_x}{2}\cos\beta$	

（续）

各部名称	计算公式	备　　注
飞刀外径	$d_{a0}=d_0+2h_a$	
飞刀根径	$d_{f0}=d_0-2h_f$	
飞刀顶刃后角	α_{oB}一般取10°～12°	
侧刃法向后角	$\tan\alpha_{oB1}=\tan\alpha_{oB}\sin\alpha_n$	α_n① 是蜗杆法向齿形角。必须使 $\alpha_{oB1}\geqslant 3°$，若计算结果 $\alpha_{oB1}<3°$，则应增大顶刃后角
刀齿顶刃圆角半径	$r=0.2m_x$	
飞刀宽度	$b=s_0+2h_f\tan\alpha_n+2y$	$2y=0.5\sim 2$mm（此值为加宽量）
刀齿深度	$H=\dfrac{d_{a0}-d_{f0}}{2}+K$	$K=\dfrac{\pi d_{a0}}{z}\tan\alpha_{oB}$
齿形角	$\alpha_x'=\alpha_n-\dfrac{\sin^3\beta\times 90°}{z_1\text{（蜗杆头数）}}$	当$\beta\leqslant 20°$时，可取$\alpha_x'=\alpha_n$

① $\tan\alpha_n=\tan\alpha_x\cos\beta$，$\alpha_x$ 是蜗杆轴向齿形角，α_n 是蜗杆法向齿形角。

例 5　已知一对蜗轮蜗杆，$m_x = 3\text{mm}$，螺旋角 $\beta = 12°30'$，蜗轮 $z_2 = 30$，节圆直径 $d_2 = 90\text{mm}$，蜗杆节圆直径 $d_1 = 54\text{mm}$，右旋，机床丝杠螺距 $P_{丝} = 6\text{mm}$。求展成传动比、飞刀各部分尺寸及分度头手柄转数。

解： $i = \dfrac{40P_{丝}}{\pi d_2} = \dfrac{40 \times 6}{3.1416 \times 90} \approx 0.84883$

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} \approx \frac{80 \times 35}{55 \times 60}$$

飞刀头各部分尺寸计算：

1）飞刀节圆直径。$\beta = 12°30'$（在 $3° \sim 20°$ 范围内），可取 $a = 0.2$。则

$$d_0 = \frac{d_1}{\cos\beta} + am_x = \frac{54\text{mm}}{\cos 12°30'} + 0.2 \times 3\text{mm}$$

$$= \frac{54\text{mm}}{0.9763} + 0.6\text{mm}$$

$$= 55.91\text{mm}$$

2）齿顶高

$$h_a = fm_x + cm_x + 0.1m_x$$
$$= 1 \times 3\text{mm} + 0.2 \times 3\text{mm} + 0.1 \times 3\text{mm}$$
$$= 3.9\text{mm}$$

3）齿根高

$$h_f = fm_x + cm_x = 1 \times 3\text{mm} + 0.2 \times 3\text{mm}$$
$$= 3.6\text{mm}$$

4）全齿高

$$h = h_a + h_f = 3.9\text{mm} + 3.6\text{mm} = 7.5\text{mm}$$

5）飞刀节圆齿厚

$$s_0 = \frac{\pi m_x}{2}\cos\beta = \frac{3.14 \times 3\text{mm}}{2}\cos 12°30'$$

$$= 4.71\text{mm} \times 0.9763 = 4.598\text{mm}$$

6）飞刀回转外径

$$d_{a0} = d_0 + 2h_a = 55.91\text{mm} + 2 \times 3.9\text{mm} = 63.71\text{mm}$$

7）飞刀根径

$$d_{f0} = d_0 - 2h_f = 55.91 - 2 \times 3.6\text{mm} = 48.71\text{mm}$$

8）飞刀顶刃后角

取 $$\alpha_{oB} = 10°$$

9）侧刃法向后角

取 $$\alpha_{oB1} = 5°$$

10）刀齿顶刃圆角半径 r

$$r = 0.2m_x = 0.2 \times 3\text{mm} = 0.6\text{mm}$$

11）飞刀宽度

$$b = S_0 + 2h_f\tan\alpha_n + 2y$$

其中 $\tan\alpha_n = \tan\alpha_x\cos\beta = \tan 20° \times \cos 12°30' = 0.35534$

取 $$2y = 1\text{mm}$$

所以 $b = 4.598\text{mm} + 2 \times 3.6\text{mm} \times 0.35534 + 1\text{mm}$

$= 4.598\text{mm} + 7.2\text{mm} \times 0.35534 + 1\text{mm} = 8.158\text{mm}$

12）刀齿深度

$$H = \frac{d_{a0} - d_{f0}}{2} + K$$

因为 $$K = \frac{\pi d_{a0}}{z}\tan\alpha_{oB}$$

所以 $$H = \frac{63.71\text{mm} - 48.71\text{mm}}{2} + \frac{3.14 \times 63.71\text{mm}}{30} \times 0.176$$

$$= 7.5\text{mm} + 1.174\text{mm} = 8.674\text{mm}$$

13）齿形角

$$\alpha'_{\text{x}} = \alpha_{\text{n}} - \frac{\sin^3\beta \times 90°}{z_1}$$

因为 $$\beta = 12°30' < 20°$$

可取 $$\alpha'_{\text{x}} = \alpha_{\text{n}}$$

$$\tan\alpha_{\text{n}} = 0.35534$$

所以 $$\alpha'_{\text{x}} = \alpha_{\text{n}} = 19°34'$$

分齿计算：

$$n = \frac{40}{z_2} = \frac{40}{30} = 1\frac{8}{24}$$

即展成切削一齿后，手柄回转一圈，再在分度盘的24孔圈上转过8个孔距。

刀具安装在工件里边（见表12-6第二种情况）时，已知蜗轮是右旋，所以飞刀刀杆应逆时针方向倾斜12°30′，算出的两对展成交换齿轮应加一中间轮，这样工件的转动方向为顺时针。

12.3 滚齿㊀

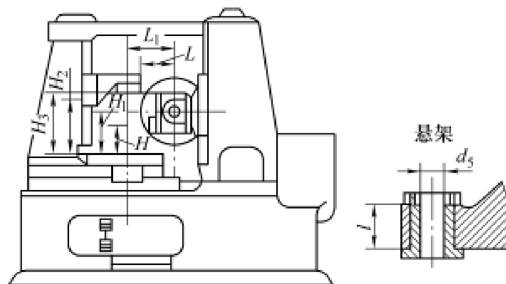
滚齿是齿轮加工中应用最广的切齿方法，滚齿机的加工精度可以达到5 ~7级。滚齿机可分为立式和卧式两种，常用的是立式滚齿机。

12.3.1 常用滚齿机连接尺寸

1. 滚齿机主要相关尺寸（表12-8）

㊀ 渐开线齿轮滚刀基本形式和模数范围见第5章。

表 12-8　滚齿机主要相关尺寸　　　　（单位：mm）

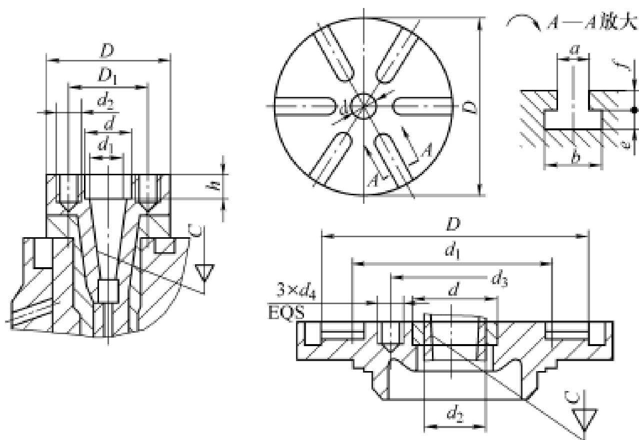


（续）

机床型号	最大加工范围			滚刀轴中心线至工作台面的距离		滚刀轴中心线至工作台中心线距离		工作台面至悬架下面尺寸		悬架尺寸		可安装最大滚刀直径
	直径	模数	宽度	H	H_1	L	L_1	H_2	H_3	d_5	l	
Y31	125	1.5	80	50	150	15	85	60	210	12	40	55
Y32B	200	4	180	110	300	30	160	150	365	35	65	80
Y3150	500	6	240	170 110	350	25	320	280	500	25	71	120
Y38	800	8	240	205	275	80	470	420	780	25	80	120
Y38-1 （Y3180A）	800	8	220	195	465	60	500	495	660	22.7	76	125
Y310	1000	12	300	210	590	90	605	310	650	35	105	200

2. 工作台尺寸（表 12-9）

表 12-9　工作台尺寸　　（单位：mm）



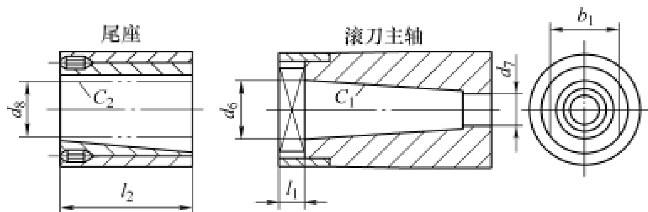
（续）

机床型号	工作台尺寸						工件心轴座孔锥度	工作台尺寸									
	D	D_1	d	d_1	d_2	h	C	D	d	d_1	d_2	d_3	d_4	a	b	e	f
Y31	90	72	50	23. 825	M8	15	莫氏 3 号										
Y32B	150	72	65	31. 267	M8	20	莫氏 4 号										
Y3150							65（直孔）	330	85	156	65	100	M8	14	24	11	15
Y38							莫氏 5 号	475	100	195	80	145	M12	18	30	14	20
Y38-1							莫氏 5 号	570	100	272	80	145	M12	18			
Y310							莫氏 5 号	670	170	282	140	205	M8	22			

3. 刀架及尾座尺寸（表 12-10）

表 12-10　刀架及尾座尺寸

（单位：mm）



机床型号	刀架最大垂直行程	刀架最大回转角度	主轴孔锥度 C_1	主轴尺寸				尾座尺寸		尾座孔锥度 C_2
				d_6	d_7	l_1	b_1	d_8	l_2	
Y31	100	360°	莫氏 2 号	17.780	12	7	32	13	30	1∶5
Y32B	200	±60°	莫氏 4 号	31.267	16	15	32	22、27	50	1∶5
Y3150	260	±90°	莫氏 4 号	31.267	16	—	32	22、27、32	65	1∶5
Y38	270	360°	莫氏 5 号	44.399	20	16	45	22、27、32	65	1∶5
Y38-1	270	360°	莫氏 4 号	31.267	16	12	32	22、27、32	60	1∶5
Y310	280	240°	莫氏 5 号	44.399	20	16	48	27、32、40	95	1∶5

注：表中有两个数据者是不同厂生产的同一型号产品的有关参数。

12.3.2　常用滚齿夹具及齿轮的安装（表 12-11）

表 12-11　常用滚齿夹具及齿轮的安装

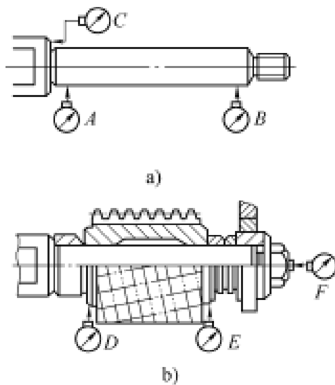
立式滚齿机用夹具及齿轮安装			
小型带孔齿轮	中型带孔齿轮	带孔齿轮（用后立柱支撑）	轴齿轮
1—工作台　2—齿轮 3—垫圈　4—螺母 5—心轴	1—支座　2—齿轮 3—压板 4—可换套筒 5—心轴		

（续）

卧式滚齿机用夹具		
带 孔 齿 轮	轴　齿　轮	人 字 齿 轮
1—心轴　2—法兰盘	1—主轴　2—后顶尖　3—卡盘	1—主轴　2—支架 3—卡盘

12.3.3 滚刀心轴和滚刀的安装要求（表 12-12）

表 12-12 滚刀心轴和滚刀的安装要求



a)

b)

<table>
<tr><th rowspan="3">齿轮精度等级</th><th rowspan="3">模数/mm</th><th colspan="6">径向和轴向圆跳动公差/mm</th></tr>
<tr><th colspan="3">滚刀心轴</th><th colspan="2">滚刀台肩</th><th>轴向圆跳动</th></tr>
<tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th></tr>
<tr><td rowspan="2">5～6</td><td>≤2.5</td><td>0.003</td><td>0.006</td><td>0.003</td><td>0.005</td><td>0.007</td><td rowspan="2">0.005</td></tr>
<tr><td>>2.5～10</td><td>0.005</td><td>0.008</td><td>0.005</td><td>0.010</td><td>0.012</td></tr>
<tr><td rowspan="3">7</td><td>≤1</td><td>0.005</td><td>0.008</td><td>0.005</td><td>0.010</td><td>0.012</td><td rowspan="3">0.010</td></tr>
<tr><td>>1～6</td><td>0.010</td><td>0.015</td><td>0.010</td><td>0.015</td><td>0.018</td></tr>
<tr><td>>6</td><td>0.020</td><td>0.025</td><td>0.020</td><td>0.020</td><td>0.025</td></tr>
</table>

（续）

齿轮精度等级	模数/mm	径向和轴向圆跳动公差/mm					
		滚刀心轴			滚刀台肩		轴向圆跳动
		A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
8	≤1	0.01	0.015	0.01	0.015	0.020	0.015
	>1～6	0.02	0.025	0.02	0.025	0.030	
	>6	0.03	0.035	0.025	0.030	0.040	
9	≤1	0.015	0.020	0.015	0.020	0.030	0.020
	>1～6	0.035	0.040	0.030	0.040	0.050	
	>6	0.045	0.050	0.040	0.050	0.060	

12.3.4　滚刀精度的选择（表 12-13）

表 12-13　滚刀精度的选择

齿轮精度	6～7	7～8	8～9	10～12
滚刀精度	AA	A	B	C

注：滚切 6 级精度以上的齿轮，需设计制造更高精度的滚刀。

12.3.5　滚齿工艺参数的选择

1. 高速钢滚刀滚切 45 钢齿轮常用切削用量（表 12-14）

2. 进给次数与滚齿余量的分配（表 12-15）

表 12-14　高速钢滚刀滚切 45 钢齿轮常用切削用量

模数/mm	粗　　切		精　　切	
	v/(m/min)	f_a/(mm/r)	v/(m/min)	f_a/(mm/r)
≤10	25~30	1.5~3	30~40	1.0~2.0
>10	12~20	1.2~2.5	15~25	1.0~1.5

注：1. 加工铸铁齿轮，f_a 可增加 20%~30%。
2. 加工合金钢齿轮，f_a、v 需减小 20%左右。
3. 用氮化钛涂层滚刀，f_a、v 可增加 50%左右。

表 12-15　进给次数与滚齿余量的分配

模数/mm	进给次数	余 量 分 配
≤3	1	—
>3~8	2	留精切齿余量 1.5~2mm
>8	3	第 1 次留余量 8~10mm，第 2 次留余量 1.5~2mm

3. 滚齿留剃余量（表 12-16）

表 12-16　滚齿留剃余量

（单位：mm）

模数	工 件 直 径			
	~100	100~200	200~500	500~1000
≤2	0.04~0.08	0.06~0.10	0.08~0.12	0.10~0.14
>2~4	0.06~0.10	0.08~0.12	0.10~0.14	0.12~0.18
>4~6	0.08~0.12	0.10~0.14	0.12~0.17	0.14~0.20
>6~8	0.10~0.14	0.12~0.16	0.14~0.19	0.18~0.22

注：1. 表中所列为双侧剃齿余量。
2. 采用本表余量必须用剃前滚刀加工齿轮。

4. 滚齿切削液选用

高速钢滚刀加工碳素合金钢齿轮需用由矿物油和植物油合成的切削液，或用由 L-AN 油、硫化切削油、油酸、氯化蜡等合成的极压切削液，可提高滚刀寿命和减小齿面的表面粗糙度值。

12.3.6 滚齿加工调整

1. 交换齿轮计算及滚齿机定数

（1）分齿、进给、差动交换齿轮计算公式

1）分齿交换齿轮计算公式：

$$\frac{\text{分齿定数} \times K}{z} = \frac{ac}{bd}$$

式中 K——滚刀头数；

z——齿数。

2）进给交换齿轮计算公式：

$$\text{垂直进给定数} \times f_{\text{立}} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

$$\text{水平进给定数} \times f_{\text{平}} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

式中 $f_{\text{立}}$——垂直进给量（mm）；

$f_{\text{平}}$——水平进给量（mm）。

3）差动交换齿轮计算公式：

$$\frac{\text{差动定数} \times \sin\beta}{m_n K} = \frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$$

式中 β——工件螺旋角（°）；

m_n——法向模数（mm）。

（2）Y38 滚齿机定数（表 12-17）

表 12-17　Y38 滚齿机定数

分齿定数				进给定数		差动定数
$z \leqslant 161$		$z > 161$				
直齿圆柱齿轮	斜齿轮	直齿圆柱齿轮	斜齿轮	垂直	水平	
$e=36$ $f=36$ 定数24	$e=36$ 36　36 $f=36$ 定数24	$e=24$ $f=48$ 定数48	$e=24$ 36　36 $f=48$ 定数48	$\frac{3}{4}$①	$\frac{5}{4}$	7.95775

① 若机床上与进给交换齿轮相连的蜗杆副是 2/24 时，垂直进给定数应是 3/10。

2. 滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置

1）在 Y38 上用右旋滚刀时，滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置见表 12-18。

2）在 Y38 上用左旋滚刀时，滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置见表 12-19。

12.3.7　滚切大质数齿轮（以 Y38 型滚齿机为例）

1. 滚切大质数直齿圆柱齿轮时各组交换齿轮计算

（1）分齿交换齿轮计算

$$\frac{24K}{z \pm p} = \frac{ac}{bd}$$

表 12-18　在 Y38 上用右旋滚刀时，滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置

齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z\leqslant161$ 时	当 $z>161$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
直齿圆柱齿轮	ω	e f $\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	e f $\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	—	—
蜗轮									

（续）

齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z\leqslant161$ 时	当 $z>161$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
右旋齿轮	$\beta-\omega$	36 36 e f 36 36 $\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	36 36 e f $\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮
左旋齿轮	$\beta+\omega$			加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮

注：ω—滚刀螺旋角；β—工件螺旋角。

表 12-19　在 Y38 上用左旋滚刀时，滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置

<table>
<tr><th rowspan="2">齿轮种类</th><th rowspan="2">滚刀安装角度和工作台回转方向</th><th colspan="2">齿轮 e 和 f</th><th colspan="2">分齿交换齿轮及中间轮
$\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$</th><th colspan="2">进给交换齿轮及中间轮
$\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$</th><th colspan="2">差动交换齿轮及中间轮
$\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$</th></tr>
<tr><th>当 $z\leqslant161$ 时</th><th>当 $z>161$ 时</th><th>一对齿轮</th><th>两对齿轮</th><th>一对齿轮</th><th>两对齿轮</th><th>一对齿轮</th><th>两对齿轮</th></tr>
<tr><td>直齿圆柱齿轮</td><td></td><td rowspan="2">$\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$</td><td rowspan="2">$\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$</td><td rowspan="2">加两个中间轮</td><td rowspan="2">加一个中间轮</td><td rowspan="2">加两个中间轮</td><td rowspan="2">加一个中间轮</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">—</td></tr>
<tr><td>蜗轮</td><td></td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th rowspan="3">齿轮种类</th><th rowspan="3">滚刀安装角度和工作台回转方向</th><th colspan="2">齿轮 e 和 f</th><th colspan="2">分齿交换齿轮及中间轮
$\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$</th><th colspan="2">进给交换齿轮及中间轮
$\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$</th><th colspan="2">差动交换齿轮及中间轮
$\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$</th></tr>
<tr><th rowspan="2">当 $z\leqslant161$ 时</th><th rowspan="2">当 $z>161$ 时</th><th>一对齿轮</th><th>两对齿轮</th><th>一对齿轮</th><th>两对齿轮</th><th>一对齿轮</th><th>两对齿轮</th></tr>
<tr></tr>
<tr><td>右旋齿轮</td><td>$\beta+\omega$</td><td rowspan="2">$\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$</td><td rowspan="2">$\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$</td><td>加两个中间轮</td><td>加一个中间轮</td><td>加两个中间轮</td><td>加一个中间轮</td><td>加两个中间轮</td><td>加一个中间轮</td></tr>
<tr><td>左旋齿轮</td><td>$\beta-\omega$</td><td>加两个中间轮</td><td>加一个中间轮</td><td>加两个中间轮</td><td>加一个中间轮</td><td>加一个中间轮</td><td>不加中间轮</td></tr>
</table>

式中　K——滚刀头数；

　　$\pm p$——加减任意一个分数，但要保证使分子分母能互相约简。

当 $z \leqslant 161$ 时，定数用 24；

当 $z > 161$ 时，定数用 48。

（2）进给交换齿轮计算

$$\frac{3}{4}f_{立} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

式中　$f_{立}$——垂直进给量。

（3）差动交换齿轮计算

$$\pm \frac{25^{㊀} p}{f_{立} K} = \frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$$

若分齿交换齿轮公式中用“$z + p$”，则差动交换齿轮公式前取“－”号，表示差动补给运动与工作台转动方向一致，使工作台多转一点，用两对齿轮时不加中间轮；反之，若分齿交换齿轮公式中用“$z - p$”，则差动交换齿轮公式前取“＋”号，表示差动补给运动使工作台少转一点，用两对齿轮时，加一个中间轮。

例 6　在 Y38 型滚齿机上要加工一个 101 齿的直齿圆柱齿轮，如果使用的是单头滚刀，进给量 $f_{立} = 1\text{mm}$，试求各组交换齿轮。

解：　设 $p = \frac{1}{20}$，前边取“＋”号，$\frac{e}{f} = \frac{36}{36} = 1$

则分齿交换齿轮：

㊀　即 $\pi \times$差动定数 $= \pi \times 7.95775 \approx 25$。

$$\frac{24K}{z+p}=\frac{24\times1}{101+\frac{1}{20}}=\frac{24\times20}{2021}=\frac{20\times24}{43\times47}$$

进给交换齿轮：

$$\frac{3}{4}f_{立}=\frac{3}{4}\times1=\frac{30}{40}$$

差动交换齿轮：因分度交换齿轮公式中用“$z+p$”，则差动交换齿轮公式前取“－”号，即

$$-\frac{25p}{f_{立}K}=-\frac{25\times\frac{1}{20}}{1\times1}=-\frac{25}{20}$$

$$=-\frac{5\times5}{5\times4}=-\frac{50\times25}{25\times40}$$

表示差动补给运动与工作台转动方向一致，即多转，不加中间轮。

2. 滚切大质数斜齿圆柱齿轮时各组交换齿轮计算

（1）分齿交换齿轮计算

$$\frac{24K}{z\pm p}=\frac{ac}{bd}$$

当 $z\leqslant161$ 时，定数用 24；当 $z>161$ 时，定数用 48。

（2）进给交换齿轮计算

$$\frac{3}{4}f_{立}=\frac{a_1c_1}{b_1d_1}$$

（3）差动交换齿轮计算

$$\pm\frac{7.95775\sin\beta}{m_n K}\pm\frac{25^{㊀}p}{f_{立}\ K}=\frac{a_2c_2}{b_2d_2}$$

式中符号意义：

当工件与滚刀螺旋方向相同时，第一项前用“－”号；方向相反时，用“＋”号。

当分齿交换齿轮公式中用 $z+p$ 时，第二项前用“－”号；当分度交换齿轮中用 $z-p$ 时，第二项前用“＋”号。

第一项和第二项若符号相同则相加；若符号相反则相减。其结果得“－”号，表示差动补给运动与工作台转动方向一致，使工作台多转一点，用两对齿轮时，不加中间轮；反之，结果得“＋”号，表示差动补给运动与工作台转动方向相反，使工作台少转一点，用两对齿轮时，加一个中间轮。

例 7 在 Y38 型滚齿机上，加工一右旋斜齿圆柱齿轮，$m_n=2$mm，$\beta=30°$，$z=103$，$f_{立}=1$mm，用右旋单头滚刀，试求各组挂轮。

解： 设 $p=\frac{1}{25}$，前边取“＋”号。

则分齿交换齿轮：

㊀ 即 $\pi\times$差动定数 $=\pi\times7.95775\approx25$。如果用其他机床，也可用这个公式计算各组交换齿轮，但需将分齿、进给、差动三个定数改为相应机床的定数。

$$\frac{24K}{z+p}=\frac{24\times 1}{103+\frac{1}{25}}=\frac{24\times 25}{2576}$$

$$=\frac{24\times 25}{16\times 7\times 23}$$

$$=\frac{25\times 60}{70\times 92}$$

进给交换齿轮：

$$\frac{3}{4}f_{立}=\frac{3}{4}\times 1=\frac{30}{40}$$

差动交换齿轮：

由于工件与滚刀螺旋方向相同，差动交换齿轮公式第一项前用“－”号。又因分度交换齿轮公式中用 $z+p$，所以第二项前也用“－”号：

$$-\frac{7.95775\sin\beta}{m_n K}-\frac{25p}{f_{立}K}=-\frac{7.95775\times\sin 30^\circ}{2\times 1}-\frac{25\times\frac{1}{25}}{1\times 1}$$

$$=-\frac{7.95775\times 0.5}{2\times 1}-1$$

$$=-1.98944-1$$

$$=-2.98944\approx-\frac{45\times 95}{22\times 65}$$

结果得“－”号，表示用两对齿轮时，不加中间轮。

注意：因为是质数齿轮，在加工中，差动运动（附加转动）是分度运动不可分割的一部分，即在加工过程中分度运动和差动运动不能分开，否则分齿就乱了。所以在加工中，如果切削第二刀时，只能先利用反车自动返回，然

后再进行切削。

3. Y38 型滚齿机加工大质数直齿圆柱齿轮时，分度、差动交换齿轮表（表 12-20）

表 12-20　Y38 型滚齿机加工大质数直齿圆柱齿轮（滚刀头数 $K=1$）时，分齿、差动交换齿轮表

齿数 z	p	分度交换齿轮	差动交换齿轮	
			$f_{立}=0.75$mm	$f_{立}=1$mm
101	1/20	24/43×20×47	55/33	50/40
137	1/20	25/43×25/83	55/33	50/40
241	1/20	23/33×20/70	40/24	50/40
362	1/20	59/89×20/100	55/33	50/40
386	1/20	33/65×24/98	95/57	50/40
389	-1/20	34/58×20/95	40/24	50/40
401	1/20	37/79×23/90	40/24	50/40
428	1/20	43/90×23/98	40/24	50/40
446	1/20	23/57×20/75	40/24	50/40
451	1/20	34/71×20/90	40/24	50/40
461	1/20	34/71×20/92	40/24	50/40
478	1/20	20/48×20/83	40/24	50/40
479	1/20	30/71×23/97	40/24	50/40
481	1/20	37/89×24/100	55/33	50/40
482	-1/15	24/61×20/79	50/20×40/45	55/33
483	1/20	40/83×20/97	55/33	30/24
489	1/15	24/67×20/73	50/20×40/45	55/33

注：表中 p 为“-”值时，则差动交换齿轮需加一个中间轮。

4. *p* 的推荐值（表 12-21）

表 12-21　*p* 的推荐值

z	p	z	p
101	$\pm\frac{1}{4}$，$-\frac{1}{17}$，$\frac{1}{20}$，$\frac{1}{24}$，$-\frac{1}{35}$	151	$-\frac{1}{5}$，$\frac{1}{20}$，$\frac{1}{34}$
103	$\pm\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{20}$，$\frac{1}{23}$，$\frac{1}{25}$	157	$-\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{20}$
107	$\pm\frac{1}{5}$，$\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{45}$，$-\frac{1}{48}$	163	$\pm\frac{1}{5}$，$\frac{1}{30}$，$-\frac{1}{35}$
		167	$\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{17}$，$\frac{1}{25}$，$\pm\frac{1}{33}$
109	$\pm\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{15}$，$\frac{1}{25}$	169	$\frac{1}{5}$
113	$-\frac{1}{5}$，$\frac{1}{15}$，$\frac{1}{34}$	173	$-\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{25}$
127	$\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{10}$，$\pm\frac{1}{17}$	179	$\pm\frac{1}{15}$，$-\frac{1}{35}$，$\frac{1}{45}$
131	$\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{20}$，$-\frac{1}{34}$	181	$\pm\frac{1}{15}$，$\frac{1}{20}$，$\pm\frac{1}{25}$，$-\frac{1}{30}$
137	$-\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{20}$，$-\frac{1}{45}$	191	$-\frac{1}{5}$，$\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{20}$
139	$\frac{1}{30}$，$-\frac{1}{35}$，$\frac{1}{40}$	193	$\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{25}$
143	$-\frac{1}{5}$	197	$\pm\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{17}$
149	$-\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{25}$，$-\frac{1}{35}$	199	$\pm\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{17}$，$\frac{1}{21}$

12.4 交换齿轮表（表12-22）

表12-22 交换齿轮表

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
14.40000	100	25	90	25	7.68000	80	25	60	25
12.80000	100	25	80	25	7.61905	100	30	80	35
12.00000	100	25	90	30	7.50000	100	30	90	40
11.52000	90	25	80	25	7.46667	80	25	70	30
11.20000	100	25	70	25	7.33333	100	25	55	30
10.66667	100	25	80	30	7.20000	100	25	90	50
10.28571	100	25	90	35	7.04000	80	25	55	25
10.08000	90	25	70	25	7.00000	100	25	70	40
9.60000	100	25	60	25	6.85714	100	25	60	35
9.33333	100	25	70	30	6.72000	70	25	60	25
9.14286	100	25	80	35	6.66667	100	30	80	40
9.00000	100	25	90	40	6.60000	90	25	55	30
8.96000	80	25	70	25	6.54545	100	25	90	55
8.80000	100	25	55	25	6.42857	100	35	90	40
8.64000	90	25	60	25	6.40000	100	25	80	50
8.57143	100	30	90	35	6.30000	90	25	70	40
8.40000	90	25	70	30	6.28571	100	25	55	35
8.22857	90	25	80	35	6.17143	90	25	60	35
8.00000	100	25	80	40	6.16000	70	25	55	25
7.92000	90	25	55	25	6.00000	100	25	90	60

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
5. 86667	80	25	55	30	4. 80000	100	25	60	50
5. 83333	100	30	70	40	4. 76190	100	30	50	35
5. 81818	100	25	80	55	4. 71429	90	30	55	35
5. 76000	90	25	80	50	4. 67532	100	35	90	55
5. 71429	100	35	80	40	4. 66667	100	25	70	60
5. 65714	90	25	55	35	4. 58333	100	30	55	40
5. 60000	100	25	70	50	4. 58182	90	25	70	55
5. 50000	100	25	55	40	4. 57143	100	25	80	70
5. 48571	80	25	60	35	4. 50000	100	25	90	80
5. 45455	100	30	90	55	4. 48000	80	25	70	50
5. 40000	90	25	60	40	4. 44444	100	30	80	60
5. 33333	100	25	80	60	4. 40000	100	25	55	50
5. 28000	60	25	55	25	4. 36364	100	25	60	55
5. 25000	90	30	70	40	4. 32000	90	25	60	50
5. 23810	100	30	55	35	4. 28571	100	30	90	70
5. 23636	90	25	80	55	4. 26667	80	25	40	30
5. 14286	100	25	90	70	4. 24242	100	30	70	55
5. 13333	70	25	55	30	4. 20000	90	25	70	60
5. 12000	80	25	40	25	4. 19048	80	30	55	35
5. 09091	100	25	70	55	4. 16667	100	30	50	40
5. 04000	90	25	70	50	4. 15584	100	35	80	55
5. 02857	80	25	55	35	4. 12500	90	30	55	40
5. 00000	100	30	90	60	4. 11429	90	25	80	70
4. 95000	90	25	55	40	4. 09091	100	40	90	55
4. 84848	100	30	80	55	4. 07273	80	25	70	55

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
4.00000	100	25	90	90	3.49091	80	25	60	55
3.96000	90	25	55	50	3.42857	100	25	60	70
3.92857	100	35	55	40	3.39394	80	30	70	55
3.92727	90	25	60	55	3.36000	70	25	60	50
3.92000	70	25	35	25	3.33333	100	30	90	90
3.88889	100	30	70	60	3.30000	90	25	55	60
3.85714	90	35	60	40	3.27273	100	50	90	55
3.85000	70	25	55	40	3.26667	70	25	35	30
3.84000	80	25	60	50	3.26531	100	35	80	70
3.81818	90	30	70	55	3.21429	100	35	90	80
3.80952	100	30	80	70	3.20833	70	30	55	40
3.77143	60	25	55	35	3.20000	100	25	80	100
3.75000	100	30	90	80	3.18182	100	40	70	55
3.74026	90	35	80	55	3.15000	90	25	70	80
3.73333	80	25	70	60	3.14286	100	25	55	70
3.67347	100	35	90	70	3.11688	100	35	60	55
3.66667	100	25	55	60	3.11111	100	25	70	90
3.65714	80	25	40	35	3.08571	90	25	60	70
3.63636	100	40	80	55	3.08000	70	25	55	50
3.60000	100	25	90	100	3.05556	100	30	55	60
3.57143	100	35	50	40	3.05455	70	25	60	55
3.55556	100	25	80	90	3.04762	80	30	40	35
3.53571	90	35	55	40	3.03030	100	30	50	55
3.52000	80	25	55	50	3.00000	100	30	90	100
3.50000	100	25	70	80	2.96296	100	30	80	90

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
2. 93878	90	35	80	70	2. 56000	80	25	40	50
2. 93333	80	25	55	60	2. 54545	100	50	70	55
2. 91667	100	30	70	80	2. 53968	100	35	80	90
2. 90909	100	50	80	55	2. 52000	90	25	70	100
2. 88000	90	25	80	100	2. 51429	80	25	55	70
2. 86364	90	40	70	55	2. 50000	100	40	90	90
2. 85714	100	35	90	90	2. 49351	80	35	60	55
2. 82857	90	25	55	70	2. 48889	80	25	70	90
2. 81250	100	40	90	80	2. 47500	90	25	55	80
2. 80519	90	35	60	55	2. 45455	90	40	60	55
2. 80000	100	25	70	100	2. 45000	70	25	35	40
2. 77778	100	30	50	60	2. 44898	100	35	60	70
2. 75000	100	25	55	80	2. 44444	100	25	55	90
2. 74286	80	25	60	70	2. 42424	100	55	80	60
2. 72727	100	55	90	60	2. 40000	100	25	60	100
2. 70000	90	25	60	80	2. 38095	100	30	50	70
2. 66667	100	30	80	100	2. 35714	90	30	55	70
2. 64000	60	25	55	50	2. 33766	100	55	90	70
2. 62500	90	30	70	80	2. 33333	100	30	70	100
2. 61905	100	30	55	70	2. 32727	80	25	40	55
2. 61818	90	50	80	55	2. 29167	100	30	55	80
2. 59740	100	35	50	55	2. 29091	90	50	70	55
2. 59259	100	30	70	90	2. 28571	100	35	80	100
2. 57143	100	35	90	100	2. 27273	100	40	50	55
2. 56667	70	25	55	60	2. 25000	100	40	90	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
2.24490	100	35	55	70	2.00000	100	50	90	90
2.24000	80	25	70	100	1.98000	90	25	55	100
2.22222	100	40	80	90	1.96875	90	40	70	80
2.20408	90	35	60	70	1.96429	100	35	55	80
2.20000	100	25	55	100	1.96364	90	50	60	55
2.18750	100	40	70	80	1.96000	70	25	35	50
2.18182	100	50	60	55	1.95918	80	35	60	70
2.16000	90	25	60	100	1.95556	80	25	55	90
2.14286	100	60	90	70	1.94444	100	40	70	90
2.13889	70	30	55	60	1.93939	80	30	40	55
2.13333	80	25	60	90	1.92857	90	35	60	80
2.12121	100	55	70	60	1.92500	70	25	55	80
2.10000	90	30	70	100	1.92000	80	25	60	100
2.09524	80	30	55	70	1.90909	90	55	70	60
2.08333	100	30	50	80	1.90476	100	60	80	70
2.07792	100	55	80	70	1.88571	60	25	55	70
2.07407	80	30	70	90	1.87500	100	60	90	80
2.06250	90	30	55	80	1.87013	90	55	80	70
2.05714	90	35	80	100	1.86667	80	30	70	100
2.04545	100	55	90	80	1.85185	100	30	50	90
2.04167	70	30	35	40	1.83673	90	35	50	70
2.04082	100	35	50	70	1.83333	100	30	55	100
2.03704	100	30	55	90	1.82857	80	25	40	70
2.03636	80	50	70	55	1.81818	100	55	90	90
2.02041	90	35	55	70	1.80000	100	50	90	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1.79592	80	35	55	70	1.60000	100	50	80	100
1.78571	100	35	50	80	1.59091	100	55	70	80
1.78182	70	25	35	55	1.58730	100	35	50	90
1.77778	100	50	80	90	1.57500	90	40	70	100
1.76786	90	35	55	80	1.57143	100	35	55	100
1.76000	80	25	55	100	1.56250	100	40	50	80
1.75000	100	40	70	100	1.55844	100	55	60	70
1.74603	100	35	55	90	1.55556	100	50	70	90
1.74545	80	50	60	55	1.54688	90	40	55	80
1.71875	100	40	55	80	1.54286	90	35	60	100
1.71429	100	35	60	100	1.54000	70	25	55	100
1.71111	70	25	55	90	1.52778	100	40	55	90
1.69697	80	55	70	60	1.52727	70	50	60	55
1.68750	90	40	60	80	1.52381	80	35	60	90
1.68000	70	25	60	100	1.51515	100	55	50	60
1.66667	100	60	90	90	1.50000	100	60	90	100
1.66234	80	35	40	55	1.48485	70	30	35	55
1.65000	90	30	55	100	1.48148	100	60	80	90
1.63636	100	55	90	100	1.46939	90	35	40	70
1.63333	70	25	35	60	1.46667	80	30	55	100
1.63265	100	35	40	70	1.45833	100	60	70	80
1.62963	80	30	55	90	1.45455	100	55	80	100
1.61616	100	55	80	90	1.44000	90	50	80	100
1.60714	100	70	90	80	1.43182	90	55	70	80
1.60417	70	30	55	80	1.42857	100	70	90	90

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1.42593	70	30	55	90	1.28000	80	25	40	100
1.42222	80	25	40	90	1.27273	100	55	70	100
1.41429	90	35	55	100	1.26984	100	70	80	90
1.41414	100	55	70	90	1.26000	90	50	70	100
1.40625	90	40	50	80	1.25714	80	35	55	100
1.40260	90	55	60	70	1.25000	100	80	90	90
1.40000	100	50	70	100	1.24675	80	55	60	70
1.39683	80	35	55	90	1.24444	80	50	70	90
1.38889	100	40	50	90	1.23750	90	40	55	100
1.37565	100	40	55	100	1.22727	90	55	60	80
1.37143	80	35	60	100	1.22500	70	25	35	80
1.36364	100	55	60	80	1.22449	100	35	30	70
1.36111	70	30	35	60	1.22222	100	50	55	90
1.35000	90	40	60	100	1.21212	100	55	60	90
1.34694	60	35	55	70	1.20313	70	40	55	80
1.33333	100	60	80	100	1.20000	100	50	60	100
1.32000	60	25	55	100	1.19048	100	60	50	70
1.31250	90	60	70	80	1.18519	80	30	40	90
1.30952	100	60	55	70	1.17857	90	60	55	70
1.30909	90	55	80	100	1.16883	90	55	50	70
1.30612	80	35	40	70	1.16667	100	60	70	100
1.29870	100	55	50	70	1.16364	80	50	40	55
1.29630	100	60	70	90	1.14583	100	60	55	80
1.28571	100	70	90	100	1.14545	90	55	70	100
1.28333	70	30	55	100	1.14286	100	70	80	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1. 13636	100	55	50	80	1. 02083	70	30	35	80
1. 13131	80	55	70	90	1. 02041	100	35	25	70
1. 12500	100	80	90	100	1. 01852	100	60	55	90
1. 12245	55	35	50	70	1. 01818	80	55	70	100
1. 12000	80	50	70	100	1. 01587	80	35	40	90
1. 11364	70	40	35	55	1. 01010	100	55	50	90
1. 11111	100	80	80	90	1. 00000	100	90	90	100
1. 10204	90	35	30	70	0. 99000	90	50	55	100
1. 10000	100	50	55	100	0. 98438	90	40	35	80
1. 09375	100	40	35	80	0. 98214	100	70	55	80
1. 09091	100	55	60	100	0. 98182	90	55	60	100
1. 08889	70	25	35	90	0. 98000	70	25	35	100
1. 08000	90	50	60	100	0. 97959	80	35	30	70
1. 07143	100	70	60	80	0. 97778	80	50	55	90
1. 06944	70	40	55	90	0. 97222	100	80	70	90
1. 06667	80	50	60	90	0. 96970	80	55	60	90
1. 06061	100	55	35	60	0. 96429	90	70	60	80
1. 05000	90	60	70	100	0. 96250	70	40	55	100
1. 04762	80	60	55	70	0. 96000	80	50	60	100
1. 04167	100	60	50	80	0. 95455	90	55	35	60
1. 03896	100	55	40	70	0. 95238	100	70	60	90
1. 03704	80	60	70	90	0. 94286	60	35	55	100
1. 03125	90	60	55	80	0. 93750	100	40	30	80
1. 02857	90	70	80	100	0. 93506	90	55	40	70
1. 02273	90	55	50	80	0. 93333	80	60	70	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 92593	100	60	50	90	0. 81818	90	55	50	100
0. 91837	90	35	25	70	0. 81667	70	30	35	100
0. 91667	100	60	55	100	0. 81633	80	35	25	70
0. 91429	80	35	40	100	0. 81481	80	60	55	90
0. 90909	100	55	50	100	0. 80808	100	55	40	90
0. 90741	70	30	35	90	0. 80357	90	70	50	80
0. 90000	90	80	80	100	0. 80208	70	60	55	80
0. 89796	55	35	40	70	0. 80000	100	50	40	100
0. 89286	100	70	50	80	0. 79545	100	55	35	80
0. 89091	70	50	35	55	0. 79365	100	70	50	90
0. 88889	100	90	80	100	0. 78750	90	80	70	100
0. 88393	90	70	55	80	0. 78571	100	70	55	100
0. 88000	80	50	55	100	0. 78125	100	40	25	80
0. 87500	100	80	70	100	0. 77922	100	55	30	70
0. 87302	100	70	55	90	0. 77778	100	90	70	100
0. 87273	80	55	60	100	0. 77143	90	70	60	100
0. 85938	55	40	50	80	0. 77000	70	50	55	100
0. 85714	100	70	60	100	0. 76563	70	40	35	80
0. 85556	70	50	55	90	0. 76389	100	80	55	90
0. 84848	80	55	35	60	0. 76364	70	55	60	100
0. 84375	90	40	30	80	0. 76190	80	70	60	90
0. 84000	70	50	60	100	0. 75758	100	55	25	60
0. 83333	100	80	60	90	0. 75000	100	80	60	100
0. 83117	80	55	40	70	0. 74242	70	55	35	60
0. 82500	90	60	55	100	0. 74074	100	60	40	90

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 73469	60	35	30	70	0. 65455	90	55	40	100
0. 73333	80	60	55	100	0. 64935	100	55	25	70
0. 72917	100	60	35	80	0. 64815	100	60	35	90
0. 72727	100	55	40	100	0. 64646	80	55	40	90
0. 72000	90	50	40	100	0. 64286	90	70	50	100
0. 71591	90	55	35	80	0. 64167	70	60	55	100
0. 71429	100	70	50	100	0. 64000	80	50	40	100
0. 71296	70	60	55	90	0. 63636	100	55	35	100
0. 71111	80	50	40	90	0. 63492	100	70	40	90
0. 70707	100	55	35	90	0. 63000	90	50	35	100
0. 70313	90	40	25	80	0. 62857	80	70	55	100
0. 70130	90	55	30	70	0. 62500	100	80	50	100
0. 70000	100	50	35	100	0. 62338	80	55	30	70
0. 69841	80	70	55	90	0. 62222	80	90	70	100
0. 69444	100	80	50	90	0. 61875	90	80	55	100
0. 68750	100	80	55	100	0. 61364	90	55	30	80
0. 68571	80	70	60	100	0. 61250	70	40	35	100
0. 68182	100	55	30	80	0. 61224	60	35	25	70
0. 68056	70	40	35	90	0. 61111	100	90	55	100
0. 67500	90	80	60	100	0. 60606	100	55	30	90
0. 67347	55	35	30	70	0. 60156	55	40	35	80
0. 66667	100	90	60	100	0. 60000	100	50	30	100
0. 66000	60	50	55	100	0. 59524	100	60	25	70
0. 65625	90	60	35	80	0. 59259	80	60	40	90
0. 65476	55	60	50	70	0. 58929	60	70	55	80

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 58442	90	55	25	70	0. 51948	80	55	25	70
0. 58333	100	60	35	100	0. 51852	80	60	35	90
0. 58182	80	55	40	100	0. 51563	55	40	30	80
0. 57292	55	60	50	80	0. 51429	90	70	40	100
0. 57273	90	55	35	100	0. 51136	90	55	25	80
0. 57143	100	70	40	100	0. 51042	70	60	35	80
0. 56818	100	55	25	80	0. 51020	50	35	25	70
0. 56566	80	55	35	90	0. 50926	55	60	50	90
0. 56250	90	80	50	100	0. 50909	80	55	35	100
0. 56122	55	35	25	70	0. 50794	80	70	40	90
0. 56000	80	50	35	100	0. 50505	100	55	25	90
0. 55682	70	55	35	80	0. 50000	100	80	40	100
0. 55556	100	90	50	100	0. 49495	70	55	35	90
0. 55000	90	90	55	100	0. 49107	55	70	50	80
0. 54688	70	40	25	80	0. 49091	90	55	35	100
0. 54545	100	55	30	100	0. 49000	70	50	35	100
0. 54444	70	50	35	90	0. 48980	40	35	30	70
0. 54000	90	50	30	100	0. 48889	80	90	55	100
0. 53571	100	70	30	80	0. 48611	100	80	35	90
0. 53472	70	80	55	90	0. 48485	80	55	30	90
0. 53333	80	90	60	100	0. 48214	90	70	30	80
0. 53030	70	55	25	80	0. 48125	70	80	55	100
0. 52500	90	60	35	100	0. 48000	80	50	30	100
0. 52381	60	70	55	90	0. 47727	70	55	30	80
0. 52083	100	60	25	80	0. 47619	100	70	30	90

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 47143	60	70	55	100	0. 40833	70	60	35	100
0. 46875	90	60	25	80	0. 40816	40	35	25	70
0. 46753	60	55	30	70	0. 40741	55	60	40	90
0. 46667	80	60	35	100	0. 40404	80	55	25	90
0. 46296	100	60	25	90	0. 40179	90	70	25	80
0. 45833	60	80	55	90	0. 40104	55	60	35	80
0. 45714	80	70	40	100	0. 40000	90	90	40	100
0. 45455	100	55	25	100	0. 39773	70	55	25	80
0. 45370	70	60	35	90	0. 39683	100	70	25	90
0. 45000	90	80	40	100	0. 39375	90	80	35	100
0. 44643	100	70	25	80	0. 39286	55	70	50	100
0. 44545	70	55	35	100	0. 39063	50	40	25	80
0. 44444	100	90	40	100	0. 38961	60	55	25	70
0. 44000	55	50	40	100	0. 38889	100	90	35	100
0. 43750	100	80	35	100	0. 38571	90	70	30	100
0. 43651	55	70	50	90	0. 38500	55	50	35	100
0. 43636	80	55	30	100	0. 38194	55	80	50	90
0. 42969	55	40	25	80	0. 38182	70	55	30	100
0. 42857	100	70	30	100	0. 38095	80	70	30	90
0. 42778	70	90	55	100	0. 37879	50	55	25	60
0. 42424	70	55	30	90	0. 37500	100	80	30	100
0. 42000	70	50	30	100	0. 37037	80	60	25	90
0. 41667	100	80	30	90	0. 36667	60	90	55	100
0. 41250	60	80	55	100	0. 36458	70	60	25	80
0. 40909	90	55	25	100	0. 36364	80	55	25	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 36000	60	50	30	100	0. 31250	100	80	25	100
0. 35714	100	70	25	100	0. 31169	40	55	30	70
0. 35648	55	60	35	90	0. 31111	80	90	35	100
0. 35556	80	90	40	100	0. 30625	70	80	35	100
0. 35354	70	55	25	90	0. 30612	30	35	25	70
0. 35000	90	90	35	100	0. 30556	55	90	50	100
0. 34921	55	70	40	90	0. 30303	60	55	25	90
0. 34722	100	80	25	90	0. 30000	90	90	30	100
0. 34375	55	80	50	100	0. 29762	50	60	25	70
0. 34286	80	70	30	100	0. 29464	55	70	30	80
0. 34091	60	55	25	80	0. 29167	70	80	30	90
0. 34028	70	80	35	90	0. 28646	55	60	25	80
0. 33750	90	80	30	100	0. 28571	80	70	25	100
0. 33333	100	90	30	100	0. 28409	50	55	25	80
0. 33000	55	50	30	100	0. 28283	40	55	35	90
0. 32813	35	40	30	80	0. 28125	90	80	25	100
0. 32738	55	60	25	70	0. 28000	40	50	35	100
0. 32727	60	55	30	100	0. 27778	100	90	25	100
0. 32468	50	55	25	70	0. 27500	55	80	40	100
0. 32407	70	60	25	90	0. 27344	35	40	25	80
0. 32143	90	70	25	100	0. 27273	60	55	25	100
0. 32083	55	60	35	100	0. 27222	70	90	35	100
0. 31818	70	55	25	100	0. 26786	60	70	25	80
0. 31746	80	70	25	90	0. 26736	55	80	35	90
0. 31429	55	70	40	100	0. 26667	80	90	30	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 26515	35	55	25	60	0. 22727	50	55	25	100
0. 26250	70	80	30	100	0. 22500	60	80	30	100
0. 26190	55	70	30	90	0. 22321	50	70	25	80
0. 26042	50	60	25	80	0. 22222	80	90	25	100
0. 25974	40	55	25	70	0. 21875	70	80	25	100
0. 25926	40	60	35	90	0. 21825	55	70	25	90
0. 25714	60	70	30	100	0. 21818	40	55	30	100
0. 25510	25	35	25	70	0. 21429	60	70	25	100
0. 25463	55	60	25	90	0. 21389	55	90	35	100
0. 25455	40	55	35	100	0. 21212	35	55	30	90
0. 25253	50	55	25	90	0. 21000	35	50	30	100
0. 25000	90	90	25	100	0. 20833	60	80	25	90
0. 24554	55	70	25	80	0. 20625	55	80	30	100
0. 24444	55	90	40	100	0. 20202	40	55	25	90
0. 24306	70	80	25	90	0. 20000	60	90	30	100
0. 24242	40	55	30	90	0. 19886	35	55	25	80
0. 24063	55	80	35	100	0. 19841	50	70	25	90
0. 24000	40	50	30	100	0. 19643	55	70	25	100
0. 23864	35	55	30	80	0. 19531	25	40	25	80
0. 23810	60	70	25	90	0. 19481	30	55	25	70
0. 23571	55	70	30	100	0. 19444	70	90	25	100
0. 23438	30	40	25	80	0. 19097	55	80	25	90
0. 23333	70	90	30	100	0. 19091	35	55	30	100
0. 23148	50	60	25	90	0. 19048	40	70	30	90
0. 22917	55	80	30	90	0. 18939	25	55	25	60

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 18750	60	80	25	100	0. 14205	25	55	25	80
0. 18519	40	60	25	90	0. 13889	50	90	25	100
0. 18333	55	90	30	100	0. 13636	30	55	25	100
0. 18229	35	60	25	80	0. 13393	30	70	25	80
0. 18182	40	55	25	100	0. 13333	40	90	30	100
0. 17857	50	70	25	100	0. 13125	35	80	30	100
0. 17677	35	55	25	90	0. 13021	25	60	25	80
0. 17500	40	80	35	100	0. 12626	25	55	25	90
0. 17361	50	80	25	90	0. 12500	40	80	25	100
0. 17188	55	80	25	100	0. 12153	35	80	25	90
0. 17143	40	70	30	100	0. 11905	30	70	25	90
0. 17045	30	55	25	80	0. 11667	35	90	30	100
0. 16667	60	90	25	100	0. 11574	25	60	25	90
0. 16234	25	55	25	70	0. 11364	25	55	25	100
0. 16204	35	60	25	90	0. 11161	25	70	25	80
0. 15909	35	55	25	100	0. 11111	40	90	25	100
0. 15873	40	70	25	90	0. 10938	35	80	25	100
0. 15625	50	80	25	100	0. 10714	30	70	25	100
0. 15556	40	90	35	100	0. 10417	30	80	25	90
0. 15278	55	90	25	100	0. 09921	25	70	25	90
0. 15152	30	55	25	90	0. 09722	35	90	25	100
0. 15000	40	80	30	100	0. 09375	30	80	25	100
0. 14881	25	60	25	70	0. 08929	25	70	25	100
0. 14583	35	80	30	90	0. 08681	25	80	25	90
0. 14286	40	70	25	100	0. 08333	30	90	25	100
					0. 07813	25	80	25	100
					0. 06944	25	90	25	100

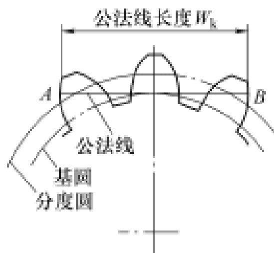
12. 5　齿轮检测

12. 5. 1　公法线长度的测量

1. 标准直齿圆柱齿轮公法线长度测量

（1）公法线长度计算公式（表 12-23）

表 12-23　公法线长度计算公式（简化后）



压力角 α/(°)	公法线长度 W_k/mm	跨越齿数 k
20	$W_k = m\cos20°[\pi(k-0.5)+0.0149z]$ $= m\times[2.952(k-0.5)+0.014z]$	$k=\frac{\alpha}{180°}z+0.5=0.111z+0.5$
$14\frac{1}{2}$	$W_k = m\cos14\frac{1°}{2}[\pi(k-0.5)+0.00555z]$ $= m\times[3.0415(k-0.5)+0.00537z]$	$k=\frac{\alpha}{180°}z+0.5=0.08z+0.5$

（2）标准直齿圆柱齿轮公法线长度数值（表 12-24）

表 12-24　标准直齿圆柱齿轮公法线长度数值

（$m=1$mm，$\alpha=20°$）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm
10	2	4.5683	28	4	10.7246
11	2	4.5823	29	4	10.7386
12	2	4.5963	30	4	10.7526
13	2	4.6103	31	4	10.7666
14	2	4.6243	32	4	10.7806
15	2	4.6383	33	4	10.7946
16	2	4.6523	34	4	10.8086
17	2	4.6663	35	4	10.8226
18	2	4.6803	36	4	10.8367
19	3	7.6464	37	5	13.8028
20	3	7.6604	38	5	13.8168
21	3	7.6744	39	5	13.8308
22	3	7.6884	40	5	13.8448
23	3	7.7025	41	5	13.8588
24	3	7.7165	42	5	13.8728
25	3	7.7305	43	5	13.8868
26	3	7.7445	44	5	13.9008
27	3	7.7585	45	5	13.9148

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm
46	6	16.8810	73	9	26.1155
47	6	16.8950	74	9	26.1295
48	6	16.9090	75	9	26.1435
49	6	16.9230	76	9	26.1575
50	6	16.9370	77	9	26.1715
51	6	16.9510	78	9	26.1855
52	6	16.9650	79	9	26.1995
53	6	16.9790	80	9	26.2135
54	6	16.9930	81	9	26.2275
55	7	19.9591	82	10	29.1937
56	7	19.9732	83	10	29.2077
57	7	19.9872	84	10	29.2217
58	7	20.0012	85	10	29.2357
59	7	20.0152	86	10	29.2497
60	7	20.0292	87	10	29.2637
61	7	20.0432	88	10	29.2777
62	7	20.0572	89	10	29.2917
63	7	20.0712	90	10	29.3057
64	8	23.0373	91	11	32.2719
65	8	23.0513	92	11	32.2859
66	8	23.0653	93	11	32.2999
67	8	23.0793	94	11	32.3139
68	8	23.0933	95	11	32.3279
69	8	23.1074	96	11	32.3419
70	8	23.1214	97	11	32.3559
71	8	23.1354	98	11	32.3699
72	8	23.1494	99	11	32.3839

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm
100	12	35.3500	127	15	44.5846
101	12	35.3641	128	15	44.5986
102	12	35.3781	129	15	44.6126
103	12	35.3921	130	15	44.6266
104	12	35.4061	131	15	44.6406
105	12	35.4201	132	15	44.6546
106	12	35.4341	133	15	44.6686
107	12	35.4481	134	15	44.6826
108	12	35.4572	135	15	44.6966
109	13	38.4282	136	16	47.6628
110	13	38.4422	137	16	47.6768
111	13	38.4563	138	16	47.6908
112	13	38.4703	139	16	47.7048
113	13	38.4843	140	16	47.7188
114	13	38.4983	141	16	47.7328
115	13	38.5123	142	16	47.7468
116	13	38.5263	143	16	47.7608
117	13	38.5403	144	16	47.7748
118	14	41.5064	145	17	50.7410
119	14	41.5205	146	17	50.7550
120	14	41.5344	147	17	50.7690
121	14	41.5484	148	17	50.7830
122	14	41.5625	149	17	50.7970
123	14	41.5765	150	17	50.8110
124	14	41.5905	151	17	50.8250
125	14	41.6045	152	17	50.8390
126	14	41.6185	153	17	50.8530

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm
154	18	53.8192	181	21	63.0537
155	18	53.8332	182	21	63.0677
156	18	53.8472	183	21	63.0817
157	18	53.8612	184	21	63.0957
158	18	53.8752	185	21	63.1097
159	18	53.8892	186	21	63.1237
160	18	53.9032	187	21	63.1377
161	18	53.9172	188	21	63.1517
162	18	53.9312	189	21	63.1657
163	19	56.8972	190	22	66.1319
164	19	56.9113	191	22	66.1459
165	19	56.9254	192	22	66.1599
166	19	56.9394	193	22	66.1739
167	19	56.9534	194	22	66.1879
168	19	56.9674	195	22	66.2019
169	19	56.9814	196	22	66.2159
170	19	56.9954	197	22	66.2299
171	19	57.0094	198	22	66.2439
172	20	59.9755	199	23	69.2101
173	20	59.9895	200	23	69.2241
174	20	60.0035			
175	20	60.0175			
176	20	60.0315			
177	20	60.0456			
178	20	60.0596			
179	20	60.0736			
180	20	60.0876			

注：若模数 m 不等于 1mm，其 W_k 值等于表中的 W_k 值乘 m。

内齿轮公法线长度，可以按表 12-24 查得，测量方法如图 12-9 所示。

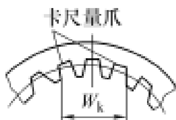


图 12-9 内齿轮测量

（3）径节齿轮公法线长度数值（表 12-25）

表 12-25 径节齿轮公法线长度数值

（$P=1$，$\alpha=14.5°$）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm
12	2	117.518	25	3	196.545
13		117.654	26		196.682
14		117.791	27		196.818
15		117.927	28		196.954
16		118.064	29		197.091
17		118.200	30		197.227
18		118.336	31		197.364
19		118.473	32		197.500
20		118.609	33		197.636
21		118.746	34		197.773
22		118.882	35		197.909
23		119.018	36		198.046
24		119.155	37		198.182

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm
38	4	275.572	63	6	433.491
39		275.709	64		433.627
40		275.845	65		433.763
41		275.982	66		433.900
42		276.118	67		434.036
43		276.254	68		434.173
44		276.391	69		434.309
45		276.527	70		434.445
46		276.664	71		434.582
47		276.800	72		434.718
48		276.936	73		434.855
49		277.073	74		434.991
50	5	354.463	75	7	512.382
51		354.600	76		512.518
52		354.736	77		512.654
53		354.873	78		512.791
54		355.009	79		512.927
55		355.145	80		513.063
56		355.282	81		513.200
57		355.418	82		513.336
58		355.555	83		513.473
59		355.691	84		513.609
60		355.827	85		513.745
61		355.904	86		513.882
62		356.100	87		514.018

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k /mm
88		591.409	95		592.364
89		591.545	96		592.500
90		591.682	97		592.636
91	8	591.818	98	8	592.773
92		591.954	99		592.909
93		592.091	100		593.046
94		592.227			

注：若径节 P 不等于1，其 W_k 值等于表中的 W_k 值被 P 除。

2. 斜齿圆柱齿轮公法线长度测量

（1）公法线长度及跨测齿数计算公式

公法线长度

$$W_{kn} = m_n \cos\alpha_n [\pi(k - 0.5) + z \mathrm{inv}\alpha_s]$$

式中　W_{kn}——法向公法线长度（mm）；

m_n——法向模数（mm）；

α_n——法向压力角（°）；

α_s——端面压力角（°）；

inv——渐开线函数；

k——跨测齿数。

一般加工时图样上给出 α_n，因此可用下面公式计算出 α_s，即

$$\tan\alpha_s = \frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta}$$

式中　β——螺旋角（°）。

跨测齿数

$$k = \frac{\alpha_s z}{180^\circ \cos^3\beta} + 0.5$$

注意：齿宽 $b \geqslant W_{kn}\sin\beta$ 才能测量。测量时要在法线上进行（图 12-10）。

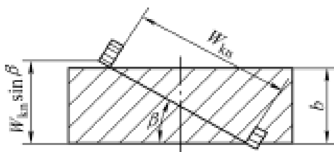


图 12-10　$b < W_{kn}\sin\beta$ 时斜齿轮不能测量公法线长度示意图

例 8　已知一斜齿轮 $z = 26$，$m_n = 3.25$mm，$\alpha_n = 20^\circ$，螺旋角 $\beta = 21^\circ 47' 12''$。求该齿轮的公法线长度 W_{kn} 以及跨测齿数 k。

解：先求出 α_s：

$$\tan\alpha_s = \frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 21^\circ 47' 12''} = 0.39196$$

则
$$\alpha_s = 21^\circ 24' 11''$$

再求跨测齿数 k：

$$k = \frac{\alpha_s z}{180^\circ \cos^3\beta} + 0.5$$
$$= \frac{21^\circ 24' 11''}{180^\circ} \times \frac{26}{\cos^3 21^\circ 47' 12''} + 0.5$$
$$= 4.17 \approx 4$$

由渐开线函数表（表 12-26）中查得

$$\text{inv}\alpha_s = \text{inv}21^\circ 24' 11'' = 0.0184$$

将上面所得数值代入公法线计算公式，则

$$W_{kn} = m_n \cos\alpha_n [\pi(k - 0.5) + z\,\text{inv}\alpha_s]$$
$$= 3.25\text{mm} \times \cos 20^\circ \times$$
$$[3.1416 \times (4 - 0.5) + 26 \times 0.0184]$$
$$= 35.042\text{mm}$$

（2）渐开线函数表（表 12-26）

3. 公法线平均长度偏差及公差

1）外齿轮公法线平均长度上偏差 E_{Wms}（为负值）和内齿轮公法线平均长度下偏差 E_{Wmi}（为正值）见表 12-27。

表 12-26　渐开线函数表

α/(°)	各行前几位相同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′	35′	40′	45′	50′	55′
1	0. 000	00177	00225	00281	00346	00420	00504	00598	00704	00821	00950	01992	01248
2	0. 000	01418	01603	01804	02020	02253	02503	02771	03058	03364	03689	04035	04402
3	0. 000	04790	05201	05634	06091	06573	07079	07610	08167	08751	09362	10000	10668
4	0. 000	11364	12090	12847	13634	14453	15305	16189	17107	18059	19045	20067	21125
5	0. 000	22220	23352	24522	25731	26978	28266	29594	30963	32374	33827	35324	36864
6	0. 00	03845	04008	04175	04347	04524	04706	04897	05093	05280	05481	05687	05898
7	0. 00	06115	06337	06564	06797	07035	07279	07528	07783	08044	08310	08582	08861
8	0. 00	09145	09435	09732	10034	10343	10559	10980	11308	11643	11984	12332	12687
9	0. 00	13048	13416	13792	14174	14563	14960	15363	15774	16193	16618	17051	17492
10	0. 00	17941	18397	18860	19332	19812	20299	20795	21299	21810	22330	22859	23396
11	0. 00	23941	24495	25057	25628	26208	26797	27394	28001	28616	29241	29875	30518
12	0. 00	31171	31832	32504	33185	33875	34575	35285	36005	36735	37474	38224	38984

（续）

α/(°)	各行前几位相同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′	35′	40′	45′	50′	55′
13	0.00	39754	40534	41325	42126	42938	43760	44593	45437	46291	47157	48033	48921
14	0.00	49819	50729	51650	52582	53526	54482	55448	56427	57417	58420	59434	60460
15	0.00	61498	62548	63611	64686	65773	66873	67985	69110	70248	71398	72561	73738
16	0.0	07493	07613	07735	07857	07982	08107	08234	08362	08492	08623	08756	08889
17	0.0	09025	09161	09299	09439	09580	09722	09866	10012	10158	10307	10456	10608
18	0.0	10760	10915	11071	11228	11387	11547	11709	11873	12038	12205	12373	12543
19	0.0	12715	12888	13063	13240	13418	13598	13779	13963	14148	14334	14523	14713
20	0.0	14904	15098	15293	15490	15689	15890	16092	16296	16502	16710	16920	17132
21	0.0	17345	17560	17777	17996	18217	18440	18665	18891	19120	19350	19583	19817
22	0.0	20054	20292	20533	20775	21019	21266	21514	21765	22018	22272	22529	22788
23	0.0	23049	23312	23577	23845	24114	24386	24660	24936	25214	25495	25778	26062
24	0.0	26350	26639	26931	27225	27521	27820	28121	28424	28729	29037	29348	29660

（续）

α/(°)	各行前几位相同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′	35′	40′	45′	50′	55′
25	0. 0	29975	30293	30613	30935	31260	31587	31917	32249	32583	32920	33260	33602
26	0. 0	33947	34294	34644	34997	35352	35709	36069	36432	36798	37166	37537	37910
27	0. 0	38287	38666	39047	39432	39819	40209	40602	40997	41395	41797	42201	42607
28	0. 0	43017	43430	43845	44264	44685	45110	45537	45967	46400	46837	47276	47718
29	0. 0	48164	48612	49064	49518	49976	50437	50901	51368	51838	52312	52788	53268
30	0. 0	53751	54238	54728	55221	55717	56217	56720	57226	57736	58249	58765	59285
31	0. 0	59809	60336	60866	61400	61937	62478	63022	63570	64122	64677	65236	65799
32	0. 0	66364	66934	67507	68084	68665	69250	69838	70430	71026	71626	72230	72838
33	0. 0	73449	74064	74684	75307	75934	76565	77200	77839	78483	79130	79781	80437
34	0. 0	81097	81760	82428	83100	83777	84457	85142	85832	86525	87223	87925	88631
35	0. 0	89342	90058	90777	91502	92230	92963	93701	94443	95190	95924	96698	97459
36	0.	09822	09899	09977	10055	10133	10212	10292	10371	10452	10533	10614	10696

（续）

α/(°)	各行前几位相同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′	35′	40′	45′	50′	55′
37	0.	10778	10861	10944	11028	11113	11197	11283	11369	11455	11542	11630	11718
38	0.	11806	11895	11985	12075	12165	12257	12348	12441	12534	12627	12721	12815
39	0.	12911	13006	13102	13199	13297	13395	13493	13592	13692	13792	13893	13995
40	0.	14097	14200	14303	14407	14511	14616	14722	14829	14936	15043	15152	15261
41	0.	15370	15480	15591	15703	15815	15928	16041	16156	16270	16386	16502	16619
42	0.	16737	16855	16974	17093	17214	17336	17457	17579	17702	17826	17951	18076
43	0.	18202	18329	18457	18585	18714	18844	18975	19106	19238	19371	19505	19639
44	0.	19774	19910	20047	20185	20323	20463	20603	20743	20885	21028	21171	21315
45	0.	21460	21606	21753	21900	22049	22108	22348	22490	22651	22804	22958	23112
46	0.	23268	23424	23582	23740	23899	24059	24220	24382	24545	24709	24874	25040
47	0.	25206	25374	25513	25713	25883	26055	26228	26401	26576	26752	26929	27107
48	0.	27285	27465	27646	27828	28012	28196	28381	28567	28755	28943	29133	29324

（续）

α/(°)	各行前几位相同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′	35′	40′	45′	50′	55′
49	0.	29516	29709	29903	30098	30295	30492	30691	30891	31092	31295	31493	31703
50	0.	31909	32116	32324	32534	32745	32957	33171	33385	33601	33818	34037	34257
51	0.	34478	34700	34924	35149	35376	35604	35833	36063	36295	36529	36763	36990
52	0.	37237	37476	37716	37958	38202	38446	38693	38941	39190	39441	39693	39947
53	0.	40202	40459	40717	40977	41239	41502	41767	42034	42302	42571	42843	43116
54	0.	43390	43667	43945	44225	44506	44789	45074	45361	45650	45904	46232	46526
55	0.	46822	47119	47419	47720	48023	48328	48635	48944	49255	49568	49882	50199
56	0.	50518	50838	51161	51486	51813	52141	52472	52805	53141	53478	53817	54159
57	0.	54503	54849	55197	55547	55900	56255	56612	56972	57333	57698	58064	58433
58	0.	58804	59178	59554	59933	60314	60697	61083	61472	61863	62257	62653	63052
59	0.	63454	63858	64265	64674	65086	65501	65919	66340	66763	67189	67618	68050

注：用法说明如下：

1. 找出角 $\alpha=14°30'$的 inv。$\mathrm{inv}\alpha=0.0055448$。
2. 找出角 $\alpha=22°18'25''$的 inv。在表中找出 $\mathrm{inv}22°15'=0.020775$。表中 $5'$（$300''$）的差为 0.000244，附加的 $3'25''$（$205''$）的 inv 数值应为 $\dfrac{0.000244\times205}{300}=0.000167$，因此 $\mathrm{inv}22°18'25''=0.020775+0.000167=0.020942$。

表 12-27　外齿轮公法线平均长度上偏差 E_{Wms}（为负值）和内齿轮公法线平均长度下偏差 E_{Wmi}（为正值）　（单位：μm）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
b	3	≥1~10	63	71	80	100	112	125	125	140	160	180	200	250	280	355	400
		>10~25	—	—	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
	4	≥1~10	63	71	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
		>10~25	—	—	90	100	112	125	140	160	160	180	224	250	280	355	400
	5	≥1~10	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		>10~25	—	—	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
	6	≥1~10	80	90	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		>10~25	—	—	112	125	140	160	160	160	180	200	224	280	315	355	450
	7	≥1~10	90	100	112	125	140	140	160	160	180	200	250	280	315	400	450
		>10~25	—	—	125	140	160	180	180	200	224	250	250	280	315	450	450
	8	≥1~10	100	112	125	140	160	180	180	200	200	224	250	280	315	400	450
		>10~25	—	—	140	160	180	180	200	224	224	250	280	315	355	400	450

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
b	9	≥1~10	112	125	140	160	180	200	200	224	250	280	280	315	355	450	500
		>10~25	—	—	200	200	200	224	224	250	280	315	355	400	400	450	500
	10	≥1~10	140	160	180	180	200	224	224	250	280	315	355	355	400	450	500
		>10~25	—	—	224	250	250	250	280	280	315	355	355	400	450	560	560
c	3	≥1~10	40	50	56	63	71	80	90	100	100	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
	4	≥1~10	45	50	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	63	71	80	90	90	100	112	125	140	160	200	224	280
	5	≥1~10	50	63	63	71	80	90	100	100	112	125	140	160	200	224	280
		>10~25	—	—	80	90	90	100	112	112	125	140	160	180	200	250	280
	6	≥1~10	56	63	71	80	90	100	112	112	125	140	160	180	200	250	280
		>10~25	—	—	80	90	100	112	125	125	140	160	180	200	200	250	280

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
c	7	≥1~10	71	71	80	90	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315
		>10~25	—	—	100	112	125	125	140	140	160	180	200	224	250	280	315
	8	≥1~10	80	90	100	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	280	315
		>10~25	—	—	125	140	140	160	160	160	180	200	224	250	280	315	355
	9	≥1~10	100	112	125	125	140	160	160	180	180	200	224	250	280	315	355
		>10~25	—	—	160	180	180	200	200	224	224	224	250	280	315	355	450
	10	≥1~10	125	140	140	160	160	180	180	200	200	224	250	280	315	355	400
		>10~25	—	—	200	200	224	224	250	250	280	280	280	315	355	400	450
d	3	≥1~10	28	32	40	45	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140	180
		>10~25	—	—	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
	4	≥1~10	36	40	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
		>10~25	—	—	50	56	63	63	63	71	80	90	100	112	125	160	180

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
d	5	≥1~10	40	45	50	56	63	63	71	71	80	90	100	112	140	160	200
		>10~25	—	—	56	63	71	80	80	90	100	112	112	125	140	160	200
	6	≥1~10	50	56	56	63	71	71	80	90	90	100	125	125	140	160	200
		>10~25	—	—	71	80	90	90	90	90	100	112	125	140	160	200	200
	7	≥1~10	56	63	71	80	80	90	90	100	112	125	140	160	180	200	224
		>10~25	—	—	80	90	100	112	112	125	140	140	140	160	180	224	250
	8	≥1~10	71	71	80	90	100	112	112	112	125	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	112	112	112	125	125	140	160	160	160	180	200	224	280
	9	≥1~10	90	100	112	112	125	140	140	140	140	160	180	200	224	280	315
		>10~25	—	—	140	140	160	160	180	180	200	200	224	224	250	280	315
	10	≥1~10	112	125	125	140	160	160	160	160	180	180	200	224	250	280	355
		>10~25	—	—	180	180	200	200	200	224	224	250	280	280	280	315	355

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
e	3	≥1~10	22	25	28	32	36	40	40	45	50	56	63	71	90	100	125
		>10~25	—	—	36	40	40	40	45	50	56	56	63	80	90	100	125
	4	≥1~10	25	28	32	36	40	40	45	45	50	56	63	80	90	100	125
		>10~25	—	—	36	40	45	50	50	56	63	71	71	80	90	112	125
	5	≥1~10	32	36	40	45	50	50	56	63	71	71	80	90	100	112	140
		>10~25	—	—	50	56	56	56	63	63	71	80	90	100	112	125	140
	6	≥1~10	40	45	50	56	56	56	63	63	71	80	90	100	112	140	140
		>10~25	—	—	63	63	71	71	80	80	90	100	100	112	125	140	160
	7	≥1~10	50	56	56	63	71	80	80	80	90	90	100	125	140	160	180
		>10~25	—	—	80	90	90	90	90	100	112	112	125	140	140	180	200
	8	≥1~10	63	63	71	80	80	90	90	100	112	112	125	125	140	180	200
		>10~25	—	—	100	100	112	112	125	125	125	140	140	160	180	200	224
	9	≥1~10	80	90	90	100	112	112	125	125	140	140	160	160	180	224	250
		>10~25	—	—	140	140	140	140	160	160	160	180	200	200	224	250	280
	10	≥1~10	100	112	112	125	140	140	160	160	160	180	200	200	224	250	280
		>10~25	—	—	160	160	180	180	180	200	200	224	224	250	280	315	315

2）公法线平均长度公差 T_{Wm} 见表 12-28。

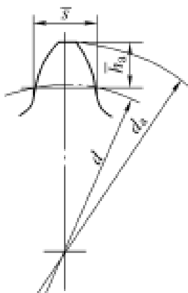
表 12-28　公法线平均长度公差 T_{Wm}　　（单位：μm）

齿厚公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
		≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
3	≥1~25	14	16	20	25	28	32	32	36	40	45	50	71	80	100	112
4		14	22	25	28	32	36	45	45	50	56	63	80	90	125	140
5		20	25	28	32	36	45	50	50	56	71	90	100	112	140	160
6		25	32	36	45	50	50	63	71	80	90	100	125	140	180	200
7		28	36	45	50	63	71	71	80	90	112	125	140	160	224	250
8		36	45	56	63	71	90	90	100	125	140	160	180	200	280	315
9		45	56	63	80	100	112	112	125	160	180	200	224	280	355	400
10		56	71	90	100	125	140	140	160	180	224	250	280	355	450	500

12.5.2 分度圆弦齿厚的测量

1. 计算公式（表 12-29）

表 12-29 计算公式



分度圆弦齿厚 $\bar{s}$	分度圆弦齿高 $\bar{h}_a$
$\bar{s}=mz\sin\dfrac{90°}{z}$	$\bar{h}_a=\dfrac{m}{2}\left[2+z\left(1-\cos\dfrac{90°}{z}\right)\right]$

注：1. 测量斜齿轮时，应以法向模数 m_n 和当量齿数 z_v 来代替公式中的 m 和 z。

2. 测量锥齿轮时，测量位置应取在大头，所以应以大端模数和当量齿数 z_v 来代替公式中的 m 和 z。

2. 分度圆弦齿厚的测量尺寸（表 12-30）

表 12-30　分度圆弦齿厚的测量尺寸（$m=1\text{mm}$）

（单位：mm）

齿数 z	弦齿厚 $\bar{s}$	弦齿高 $\bar{h}_a$	齿数 z	弦齿厚 $\bar{s}$	弦齿高 $\bar{h}_a$
10	1.5643	1.0615	35	1.5703	1.0176
11	1.5655	1.0560	36	1.5703	1.0171
12	1.5663	1.0513	37	1.5703	1.0167
13	1.5669	1.0474	38	1.5703	1.0162
14	1.5675	1.0440	39	1.5704	1.0158
15	1.5679	1.0411	40	1.5704	1.0154
16	1.5683	1.0385	41	1.5704	1.0150
17	1.5686	1.0363	42	1.5704	1.0146
18	1.5688	1.0342	43	1.5704	1.0143
19	1.5690	1.0324	44	1.5705	1.0140
20	1.5692	1.0308	45	1.5705	1.0137
21	1.5693	1.0294	46	1.5705	1.0134
22	1.5694	1.0280	47	1.5705	1.0131
23	1.5695	1.0268	48	1.5705	1.0128
24	1.5696	1.0257	49	1.5705	1.0126
25	1.5697	1.0247	50	1.5705	1.0124
26	1.5698	1.0237	51	1.5705	1.0121
27	1.5698	1.0228	52	1.5706	1.0119
28	1.5699	1.0220	53	1.5706	1.0116
29	1.5700	1.0212	54	1.5706	1.0114
30	1.5701	1.0205	55	1.5706	1.0112
31	1.5701	1.0199	56	1.5706	1.0110
32	1.5702	1.0193	57	1.5706	1.0108
33	1.5702	1.0187	58	1.5706	1.0106
34	1.5702	1.0181	59	1.5706	1.0104

（续）

齿数 z	弦齿厚 $\bar{s}$	弦齿高 $\bar{h}_a$	齿数 z	弦齿厚 $\bar{s}$	弦齿高 $\bar{h}_a$
60	1.5706	1.0103	85	1.5707	1.0073
61	1.5706	1.0101	86	1.5707	1.0072
62	1.5706	1.0100	87	1.5707	1.0071
63	1.5706	1.0098	88	1.5707	1.0070
64	1.5706	1.0096	89	1.5707	1.0069
65	1.5706	1.0095	90	1.5707	1.0069
66	1.5706	1.0093	91	1.5707	1.0068
67	1.5706	1.0092	92	1.5707	1.0067
68	1.5706	1.0091	93	1.5707	1.0066
69	1.5706	1.0089	94	1.5707	1.0065
70	1.5706	1.0088	95	1.5707	1.0065
71	1.5707	1.0087	96	1.5707	1.0064
72	1.5707	1.0086	97	1.5707	1.0064
73	1.5707	1.0084	98	1.5707	1.0063
74	1.5707	1.0083	99	1.5707	1.0062
75	1.5707	1.0082	100	1.5707	1.0062
76	1.5707	1.0080	105	1.5708	1.0059
77	1.5707	1.0080	110	1.5708	1.0056
78	1.5707	1.0079	115	1.5708	1.0054
79	1.5707	1.0078	120	1.5708	1.0051
80	1.5707	1.0077	125	1.5708	1.0049
81	1.5707	1.0076	127	1.5708	1.0048
82	1.5707	1.0075	130	1.5708	1.0047
83	1.5707	1.0074	135	1.5708	1.0046
84	1.5707	1.0073	140	1.5708	1.0044
			145	1.5708	1.0042
			150	1.5708	1.0041
			齿条	1.5708	1.0000

注：测量斜齿轮和锥齿轮时，应按当量齿数 z_v 来查表。若 $m \neq 1$mm 时，表中数值乘以 m。

12.5.3 固定弦齿厚的测量

1. 计算公式（表 12-31）

表 12-31　计算公式

计算简图	计算公式	简化计算公式		
	固定弦齿厚 $\bar{s}_c=\dfrac{\pi}{2}m_n\cos^2\alpha_n$ 固定弦齿高 $\bar{h}_c=h_a-\dfrac{\pi}{8}m_n\sin2\alpha_n$ 式中　m_n——法向模数（mm）； α_n——法向压力角（°）； h_a——齿顶高（mm）	α_n	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$
		20°	$1.387m_n$	$0.748m_n$
		$14\dfrac{1°}{2}$	$1.472m_n$	$0.810m_n$

2. 固定弦齿厚测量尺寸（表 12-32）

表 12-32　固定弦齿厚测量尺寸

（单位：mm）

m	$\alpha_n=20°$		m	$\alpha_n=20°$	
	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$		$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$
1	1.3871	0.7476	6	8.3223	4.4854
1.25	1.7338	0.9344	6.5	9.0158	4.8592
1.5	2.0806	1.1214	7	9.7093	5.2330
1.75	2.4273	1.3082	7.5	10.4029	5.6068
2	2.7741	1.4951	8	11.0964	5.9806
2.25	3.1209	1.6820	9	12.4834	6.7282
2.5	3.4677	1.8689	10	13.8705	7.4757
2.75	3.8144	2.0558	11	15.2575	8.2233
3	4.1612	2.2427	12	16.6446	8.9709
3.25	4.5079	2.4296	13	18.0316	9.7185
3.5	4.8547	2.6165	14	19.4187	10.4661
3.75	5.2017	2.8034	15	20.8057	11.2137
4	5.5482	2.9903	16	22.1928	11.9612
4.25	5.8950	3.1772	18	24.9669	13.4564
4.5	6.2417	3.3641	20	27.7410	14.9515
4.75	6.5885	3.5510	22	30.5151	16.4467
5	6.9353	3.7379	24	33.2892	17.9419
5.5	7.6288	4.1117	25	34.6762	18.6895

注：测量斜齿轮时，应按法向模数 m_n 来查表。测量锥齿轮时，应按大端模数来查表。

12.5.4　齿厚上偏差及公差

1. 齿厚上偏差 E_{ss}（表 12-33）

表 12-33　齿厚上偏差 E_{ss}（为负值）　　（单位：μm）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
b	3	≥1~10	63	71	80	100	112	125	125	140	160	180	200	250	280	355	400
		>10~25	—	—	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
	4	≥1~10	63	71	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
		>10~25	—	—	90	100	112	125	140	160	160	180	224	250	280	355	400
	5	≥1~10	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		>10~25	—	—	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
	6	≥1~10	71	80	90	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		>10~25	—	—	100	112	125	140	160	160	180	200	224	280	315	355	450
	7	≥1~10	80	90	100	112	125	140	160	160	180	200	250	280	315	400	450
		>10~25	—	—	112	125	140	160	160	180	200	224	250	280	315	400	450
	8	≥1~10	90	100	112	125	140	160	160	180	200	224	250	280	315	400	450
		>10~25	—	—	125	140	160	160	180	200	200	224	250	315	355	400	450
	9	≥1~10	100	112	125	140	160	180	180	200	224	250	280	315	355	450	500
		>10~25	—	—	160	160	160	200	200	224	250	280	315	355	400	450	500
	10	≥1~10	125	140	160	160	180	200	200	224	250	280	315	355	400	450	500
		>10~25	—	—	180	200	200	224	250	250	280	315	315	355	400	500	560

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
c	3	≥1~10	40	50	56	63	71	80	90	100	100	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
	4	≥1~10	45	50	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	63	71	80	90	90	100	112	125	140	160	200	224	280
	5	≥1~10	45	56	63	71	80	90	100	100	112	125	140	160	200	224	280
		>10~25	—	—	71	80	80	90	100	112	125	140	160	180	200	250	280
	6	≥1~10	50	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	250	280
		>10~25	—	—	71	80	90	100	112	112	125	140	160	180	200	250	280
	7	≥1~10	56	63	71	80	90	100	112	125	125	140	160	200	224	250	315
		>10~25	—	—	80	90	100	112	125	125	140	160	180	200	224	280	315
	8	≥1~10	63	71	80	90	100	112	125	125	140	160	180	200	224	280	315
		>10~25	—	—	100	112	112	125	140	140	160	180	200	224	250	280	315
	9	≥1~10	80	90	100	112	125	140	140	160	160	180	200	224	280	315	355
		>10~25	—	—	125	140	140	160	160	180	180	200	224	250	280	315	400
	10	≥1~10	100	112	125	140	140	160	180	180	180	200	224	250	280	315	400
		>10~25	—	—	160	160	180	180	200	200	224	224	250	280	315	355	400

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
d	3	≥1~10	28	32	40	45	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140	180
		>10~25	—	—	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
	4	≥1~10	32	36	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
		>10~25	—	—	45	50	56	63	63	71	80	90	100	112	125	160	180
	5	≥1~10	36	40	45	50	56	63	71	71	80	90	100	112	140	160	200
		>10~25	—	—	50	56	63	71	71	80	90	100	112	125	140	160	200
	6	≥1~10	40	45	50	56	63	63	71	80	80	90	112	125	140	160	200
		>10~25	—	—	56	63	71	71	80	80	90	100	112	125	140	180	200
	7	≥1~10	45	50	56	63	71	80	80	90	100	112	125	140	160	180	224
		>10~25	—	—	63	71	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200	224
	8	≥1~10	56	56	63	71	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200	224
		>10~25	—	—	80	90	90	100	100	112	125	125	140	160	180	200	250
	9	≥1~10	71	80	90	90	100	112	112	125	125	140	160	180	200	250	280
		>10~25	—	—	100	112	125	125	140	140	160	160	180	200	224	250	280
	10	≥1~10	90	100	100	112	125	125	140	140	160	160	180	200	224	250	315
		>10~25	—	—	140	140	160	160	160	180	180	200	224	224	250	280	315

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
e	3	≥1~10	22	25	28	32	36	40	40	45	50	56	63	71	90	100	125
		>10~25	—	—	32	36	36	40	45	50	56	56	63	80	90	100	125
	4	≥1~10	22	25	28	32	36	40	45	45	50	56	63	80	90	100	125
		>10~25	—	—	32	36	40	45	45	50	56	63	71	80	90	112	125
	5	≥1~10	28	32	36	40	45	45	50	56	63	63	71	90	100	112	140
		>10~25	—	—	40	45	50	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140
	6	≥1~10	32	36	40	45	45	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140
		>10~25	—	—	45	50	56	56	63	63	71	80	90	100	112	125	140
	7	≥1~10	36	40	45	50	56	63	63	71	80	80	90	112	125	140	160
		>10~25	—	—	56	63	63	71	71	80	90	90	100	112	125	160	180
	8	≥1~10	45	50	56	63	63	71	71	80	90	90	100	112	125	160	180
		>10~25	—	—	71	71	80	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200
	9	≥1~10	63	71	71	80	90	90	100	100	112	125	140	140	160	200	224
		>10~25	—	—	100	100	112	112	125	125	125	140	160	160	180	224	250
	10	≥1~10	80	90	90	100	112	112	125	125	140	140	160	180	200	224	250
		>10~25	—	—	125	125	140	140	140	160	160	180	180	200	224	250	280

2. 齿厚公差 T_s（表 12-34）

表 12-34　齿厚公差 T_s　　（单位：μm）

齿厚公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
		≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
3	≥1~10	20	22	28	32	36	40	40	45	50	56	63	80	90	112	125
	>10~25	—	—	28	32	36	40	45	50	50	56	71	80	90	112	125
4	≥1~10	25	32	36	40	45	50	56	56	63	71	80	100	112	140	160
	>10~25	—	—	40	45	50	50	56	63	71	80	90	100	112	140	160
5	≥1~10	36	40	45	50	56	63	71	71	80	90	112	125	140	180	200
	>10~25	—	—	50	56	63	71	71	80	90	100	112	125	140	180	200
6	≥1~10	50	56	63	71	80	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
	>10~25	—	—	71	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200	224	280
7	≥1~10	63	71	80	90	100	112	112	125	140	160	180	200	224	280	315
	>10~25	—	—	100	112	112	125	125	140	160	160	180	200	250	280	355
8	≥1~10	80	90	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	280	355	400
	>10~25	—	—	125	140	140	160	160	180	180	200	224	250	315	355	400
9	≥1~10	100	112	125	146	160	180	180	200	224	250	280	315	355	450	500
	>10~25	—	—	160	160	180	200	200	224	250	280	315	355	400	450	560
10	≥1~10	125	140	160	180	200	224	224	250	280	315	355	400	450	560	630
	>10~25	—	—	200	224	224	250	250	280	315	315	355	400	500	560	710

第 13 章　钳工技术

13.1　划线

划线分平面划线和立体划线两种。平面划线是指在工件的一个表面（即工件的两坐标体系内）上划线就能表示出加工界线的划线（图 13-1），例如在板料上划线、在盘状工件端面上划线等。而立体划线是指在工件的几个不同表面（即工件的三坐标体系内）上划线才能明确表示出加工界线的划线（图 13-2），例如在支架、箱体、曲轴等工件上划线。

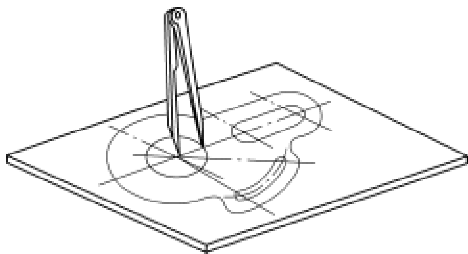


图 13-1　平面划线

13.1.1　划线基准的选择

1. 划线基准选择原则

1）划线基准应尽量与设计基准重合。

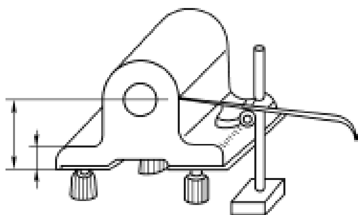


图 13-2　立体划线

2）对称形状的工件，应以对称中心线为基准。

3）有孔或工艺凸台的工件，应以主要的孔或工艺凸台的中心线为基准。

4）在未加工的毛坯上划线，应以主要不加工面作基准。

5）在加工过的工件上划线，应以加工过的表面作基准。

2. 常用划线基准类型

1）以两个互相垂直的平面（或线）为基准。如图 13-3 所示，零件在两个相互垂直的平面（在图样上是一条线）的方向上都有尺寸要求，因此，应以两个相互垂直的平面为尺寸基准。

2）以一个平面（或直线）和一条中心线为基准。如图 13-4 所示，零件高度方向的尺寸是以底面为依据的，宽度方向的尺寸对称于中心线，因此，在划高度尺寸线时应以底面为尺寸基准，划宽度尺寸线时应以中心线为尺寸基准。

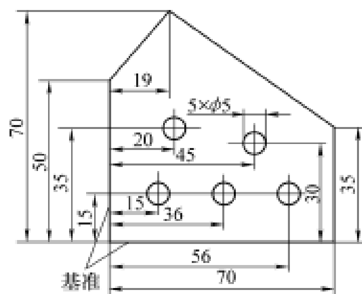


图 13-3　以两个互相垂直的平面为尺寸基准

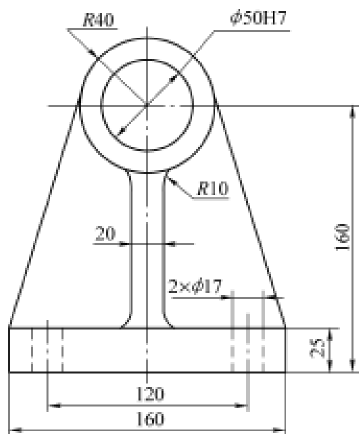


图 13-4　以一个平面和一条中心线为基准

3）以两条相互垂直的中心线为基准。如图 13-5 所示，零件两个方向的尺寸与其中心线具有对称性，并且其他尺寸也是从中心线开始标注，因此，在划线时应选择中心十字线为尺寸基准。

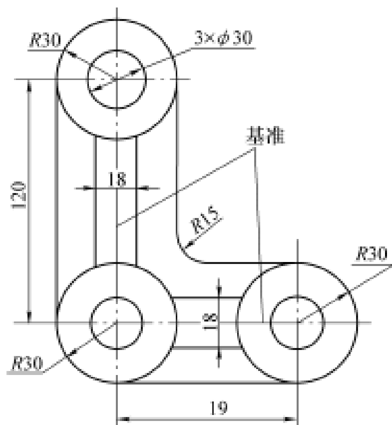


图 13-5　以两条相互垂直的中心线为基准

以上三种情况均以设计基准作为划线基准，是用于平面划线的。

对于工艺要求复杂的工件，为了保证加工质量，需要分几次划线才能完成整个划线工作。对同一个零件，在毛坯件上划线称之为第一次划线，待车削或铣削等加工后，再进行划线时，则称之为第二次划线……。在选择划线基

准时，需要根据不同划线次数，选择不同的划线基准，这种方法称“按划线次数选择划线基准”。如图 13-6 所示为齿轮泵体零件，第一次划线时，应选择 ϕ24mm 凸台的水平中心线为基准，距 50mm 划出底面 *A* 的加工线，并以底面 *A* 的厚度方向垂直中心线为基准，划出侧面 *B*、*C* 的加工线（选择 ϕ24mm 凸台为基准，保证了 Rc3/8 螺孔与凸台壁厚的均匀）。第二次划线是在 *A*、*B*、*C* 三个面加工后进行，这时应选择底面 *A* 为基准（划线基准与设计基准一致），划出距底面 *A* 为 50mm 的Rc3/8螺孔的中心线，这样保证了划线质量。

此外，对圆形零件进行划线时，应以圆形零件的轴线为基准。对对称形零件进行划线时，应以零件的对称轴线为划线基准。

13.1.2 划线时的校正和借料

1. 校正的目的和原则

1）若毛坯工件上有不加工表面时，应按不加工面校正后再划线，这样可使待加工表面与不加工表面之间的尺寸均匀。

2）若工件上有两个以上的不加工表面时，应选择其中面积较大的、较重要的或外观质量要求较高的面作为校正基准，并兼顾其他较次要的不加工表面。这样可使划线后各不加工面之间厚度均匀，并使其形状误差反映到次要部位或不显著的部位上。

3）当毛坯工件上没有不加工表面时，通过对各待加工表面自身位置的校正后再划线。这样能使各加工表面的加工余量得到合理均匀的分布。

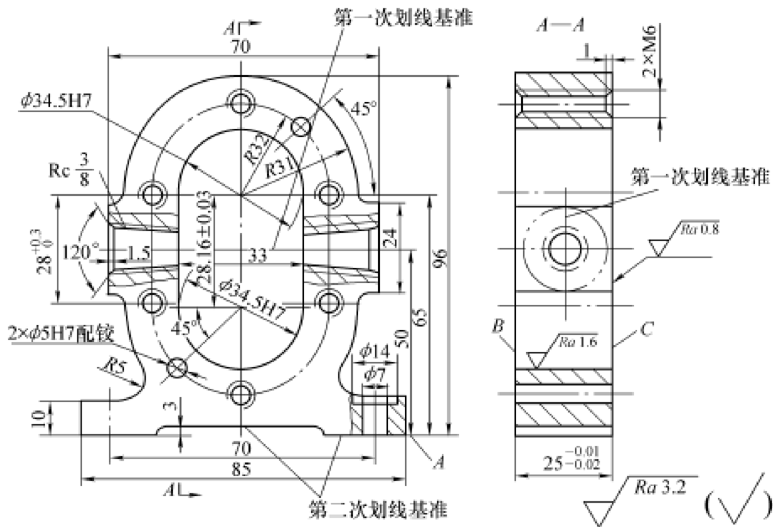

第一次划线基准
A—A
2×M6
1
70
45°
ϕ34.5H7
R32
R31
Rc 3/8
$28^{+0.3}_{0}$
120°
1.5
28.16±0.03
33
24
96
ϕ34.5H7
45°
65
2×ϕ5H7配铰
50
ϕ14
R5
ϕ7
10
3
70
85
A
第二次划线基准
第一次划线基准
Ra 0.8
B
C
Ra 1.6
$25^{-0.01}_{-0.02}$
Ra 3.2

图 13-6　齿轮泵体

4）对于有装配关系的非加工部位，应优先作为校正基准，以保证工件经划线和加工后能顺利地进行装配。

2. 借料

对有些铸件或锻件毛坯，按划线基准进行划线时，会出现零件毛坯某些部位的加工余量不够。通过调整和试划，将各部位的加工余量重新分配，以保证各部位的加工表面均有足够的加工余量，使有误差的毛坯得以补救，这种用划线来补救的方法称为借料。

对毛坯零件借料划线的步骤如下：

1）测量毛坯件的各部尺寸，找出偏移部位及偏移量。

2）根据毛坯偏移量对照各表面加工余量，分析此毛坯划线是否划得出，如确定划得出，则应确定借料的方向及尺寸，划出基准线。

3）按图样要求，以基准线为依据，划出其余所有的线。

4）复查各表面的加工余量是否合理，如发现还有的表面加工余量不够，则应继续借料重新划线，直至各表面都有合适的加工余量为止。

3. 借料划线举例

图13-7a所示为某箱体铸件毛坯的实际尺寸，图13-7b所示为箱体图样标注的尺寸（已略去其他视图及与借料无关的尺寸）。

1）如果不采用借料，分析各加工平面的余量。首先

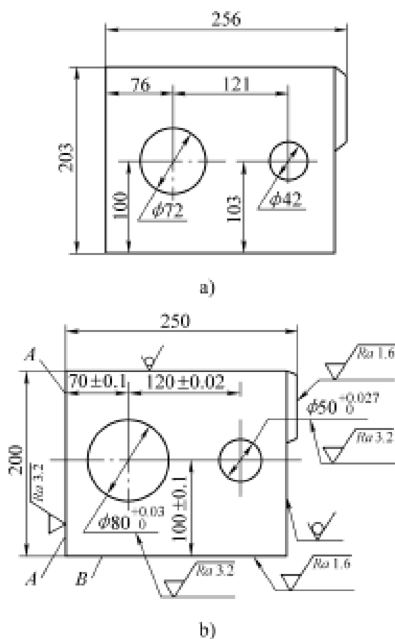


图 13-7　箱体示意图

a）毛坯的实际尺寸　b）图样标注的尺寸

应选择两相互垂直的平面 *A*、*B* 为划线基准（考虑各面余量均为 3mm）。

① 大孔的划线中心与毛坯孔中心相差 4.24mm（图

13-8a）。

a)

b)

c)

图 13-8　不借料时划线出现的情况

② 小孔的划线中心与毛坯孔中心相差4mm（图13-8a）。

③ 如果不借料，以大孔毛坯中心为基准来划线（图13-8b），则底面与右侧面均无加工余量，此时小孔的单边余量最小处不到0.9mm，很可能镗不圆。

④ 如果不借料，以小孔毛坯中心为基准来划线（图13-8c），则右侧面不但没有加工余量，还比图样尺寸小了1mm，这时大孔的单边余量最小处不到0.9mm，很可能镗不圆。

2）若采用借料划线，其尺寸分析（图13-9）如下：

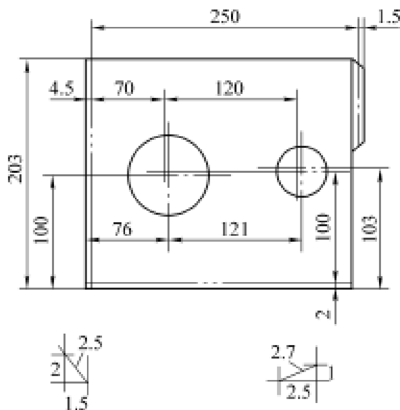


图13-9 采用借料划线的情况

① 经借料后各平面加工余量分别为4.5mm、2mm、1.5mm。

② 将大孔中心往上借 2mm，往左借 1.5mm（孔的中心实际借偏约 2.5mm）。大孔获得单边最小加工余量为 1.5mm。

③ 将小孔中心往下借 1mm，往左借 2.5mm（孔的中心实际借偏约 2.7mm）。小孔获得单边最小加工余量为 1.3mm。

应当指出，通过借料，高度尺寸比图样要求尺寸超出 1mm 一般是允许的，否则应考虑其他方法借正。

图 13-10 所示是一件有锻造缺陷的轴（毛坯）。若按常规方法加工，则轴的大端、小端均有部分没有加工余量；若采用借料划线（轴类工件借料方法，应借调中心孔或外圆夹紧定位部位，使轴的两端外圆均有一定加工余量）进行校正后加工，即可补救锻造缺陷。

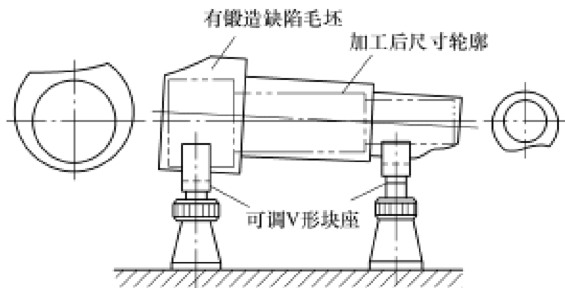


图 13-10　轴类零件借料

13.1.3　划线程序

1. 划线前的准备工作

1）若是铸件毛坯，应先将残余型砂、毛刺、浇注系统及冒口进行清理、錾平，并且锉平划线部位的表面。对锻件毛坯，应将氧化皮除去。对于“半成品”的已加工表面，若有锈蚀，应用钢丝刷将浮锈刷去，修钝锐边，擦净油污。

2）按图样和技术要求仔细分析工件特点和划线要求，确定划线基准及放置支承位置，并检查工件的误差和缺陷，确定借料的方案。

3）为了划出孔的中心，在孔中要装入中心塞块。一般小孔多用木塞块（图 13-11a），或铅塞块（图13-11b），大孔用可调式中心架（图 13-11c）。

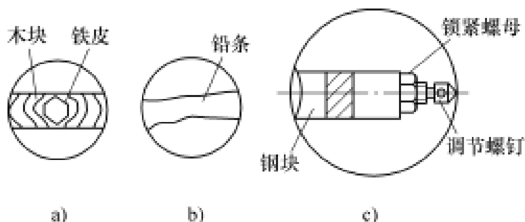


图 13-11　中心塞块

a）木塞块　b）铅塞块　c）可调式中心架

4）划线部位清理后应涂色。涂料要涂得均匀而且要薄。常用划线涂料及应用见表 13-1。

表 13-1　常用划线涂料及应用

待涂表面	涂　　料
未加工表面（氧化皮表面）	白灰水（白灰、乳胶和水） 白垩溶液（白垩粉、水，并加入少量亚麻油和干燥剂） 粉笔
已加工表面	硫酸铜溶液（硫酸铜加水或酒精） 蓝油（龙胆紫加虫胶和酒精） 绿油（孔雀绿加虫胶和酒精） 红油（品红加虫胶和酒精）

2. 划线

1）把工件夹持稳当，调整支承、找正，结合借料方案进行划线。

2）先划基准线和位置线，再划加工线，即先划水平线，再划垂直线、斜线，最后划圆、圆弧和曲线。

3）立体工件按上述方法，进行翻转放置依次划线。

3. 检查、打样冲眼

1）对照图样和工艺要求，对工件依划线顺序从基准开始逐项检查，对错划或漏划应及时改正，保证划线的准确。

2）检查无误后，在加工界线上打样冲眼。样冲眼必须打正，毛坯面要适当深些，已加工面或薄板件要浅些、稀些。精加工表面和软材料上可不打样冲眼。

13.1.4 立体划线

立体划线时，通常要利用方箱、角铁、千斤顶、角度垫铁等工具，把工件放置在划线平台上。一般比较复杂工件的划线都要经过三次放置（即 x、y、z 空间三轴线位置），才能完全划出所要求的线条。若有角度尺寸要求的工件，甚至要放置四次或五次才能全部完成立体划线工作。其中第一次划线位置的选择特别重要，而且在每次放置中都要在上下和左右两个方向上把工件找正，使其所找正的基准与平台平行或垂直。

1. 立体划线位置及校正基准的选择

（1）第一划线位置

1）划线位置选择原则为：

① 应使工件上主要孔、工艺凸台中心线或重要的加工基准线，在第一划线位置中划出。

② 应使相互关系最复杂及所划线条最多的一组尺寸线，在第一划线位置中划出。

③ 应尽量选择工件所占面积最大的一个位置作第一划线位置。

2）校正基准选择原则为：

① 以主要的孔或工艺凸台的两端中心作校正基准。

② 以不加工的最大毛坯面作校正基准。

③ 在加工过的工件上划线，应以最大加工面为校正基准。

（2）第二划线位置

1）划线位置选择原则为：应使主要的孔或工艺凸台的另一条中心线在第二划线位置中划出。

2）校正基准选择原则为：

① 一个方向应以第一划线位置中划出的最长线条作校正基准。

② 另一方向仍选择主要孔、工艺凸台中心或不加工的最大毛坯面，若加工过的工件应以加工过的最大面为校正基准。

（3）第三划线位置

1）划线位置选择原则为：

① 通常用与第一和第二划线位置相垂直的一个位置作第三划线位置。

② 该位置一般是次要的或工件所占面积最小的一个位置，所划的是相互关系较简单、线条较少的一组尺寸线。

2）校正基准选择原则为：

① 一个方向以第一划线位置中所划的最长线条作校正基准。

② 另一方向以第二划线位置中所划的最长线条作校正基准。

2. 实例

如图 13-12 所示的车床尾座，图中所标注的是该工件上三组互相垂直的尺寸：

a 组：a_1、a_2、a_3；b 组：b_1；c 组：c_1、c_2、c_3、c_4、c_5。

工件要以三次不同的位置安放，才能划完所有的线。划线基准选择Ⅰ—Ⅰ、Ⅱ—Ⅱ、Ⅲ—Ⅲ。

1）第一划线位置（划出 a 组尺寸）。按图 13-13 所示

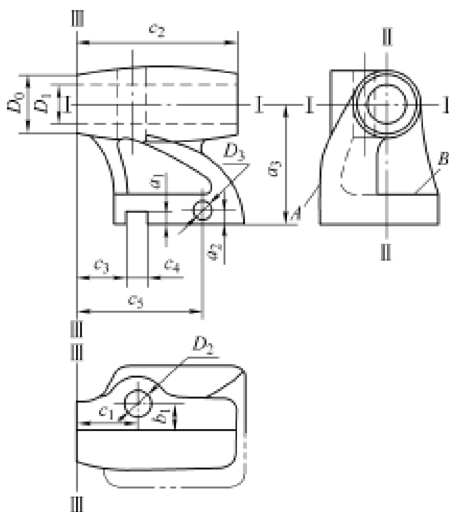


图 13-12　车床尾座

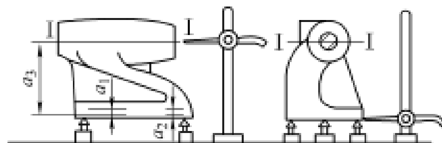


图 13-13　第一划线位置

放置后，先确定 D_0、D_1 的中心。由于 D_0 是最大、最重要的毛坯外表面，外轮廓不加工，而且加工 D_1 孔后，要保证与 D_0 同心（即保证 D_1 孔的壁厚均匀），所以要以 D_0

外圆找正分别在两端求出 D_1 中心。确定中心后，用划线盘对准两端中心校正到同一高度，划出Ⅰ—Ⅰ基准线。

A、*B* 两面（图 13-12）是不加工表面，调整千斤顶时，不仅在纵向要使两端中心校正到同一高度，而且在横向要用直角尺校正 *A* 面，使 *A* 面垂直，同时兼顾 *B* 面，用带弯头划针的划线盘校正 *B* 面，使其水平。若毛坯*A*、*B* 两面不垂直，校正时应兼顾两个面进行校正。接着试划底面的加工线，若各处加工余量比较均匀，可确定。否则要重新调整（借料）重新确定中心，最后划出底面加工线，然后划 *a* 组尺寸线。

2）第二划线位置（划出 *b* 组尺寸）。按图 13-14 所示将尾座向前翻转 90°后放置，用划线盘对准孔两端中心，调整到同一高度，同时用直角尺校正已划出的底面线（a_3），调整千斤顶，使 a_3 线垂直，这样，第二安装位置校正就完成了，划出Ⅱ—Ⅱ基准线后，就可划 *b* 组尺寸线。

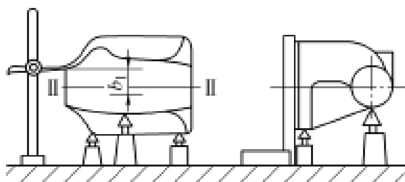


图 13-14　第二划线位置

3）第三划线位置（划出 *c* 组尺寸）。按图 13-15 所示将尾座再翻转 90°后放置，用直角尺分别校正Ⅰ—Ⅰ、

Ⅱ—Ⅱ中心线，调整千斤顶，使Ⅰ—Ⅰ、Ⅱ—Ⅱ线均垂直，这样第三安装位置校正就完成了。先根据筒形部分的尺寸 c_2，适当分配两端面加工余量，试划 c_1 尺寸线。若 D_2 孔在凸面中心，则可在工件左侧划出Ⅲ—Ⅲ基准线，若 D_2 孔偏离凸面中心，则要进行借料。最后确定Ⅲ—Ⅲ基准线后，然后划 c 组尺寸线。

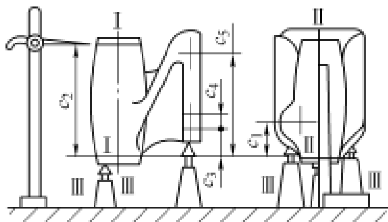


图 13-15　第三划线位置

最后划出 D_1、D_2、D_3 孔的中心线，待检查无误后，在所划线条上打上样冲眼。

13.1.5　应用分度头划线

分度头是铣床附件，是用来对工件进行分度的工具。钳工划线时，可以使用分度头对较小的、规则的圆形工件进行等分圆周和不等分圆周划线或划倾斜角度线等。其使用方便，精确度较好。

分度头的结构、传动系统及分度方法见第 7 章铣工技术。

应用分度头划等速凸轮曲线举例：

图 13-16a 所示的凸轮工作曲线$\overset{\frown}{AB}$为 0°→270°的等速

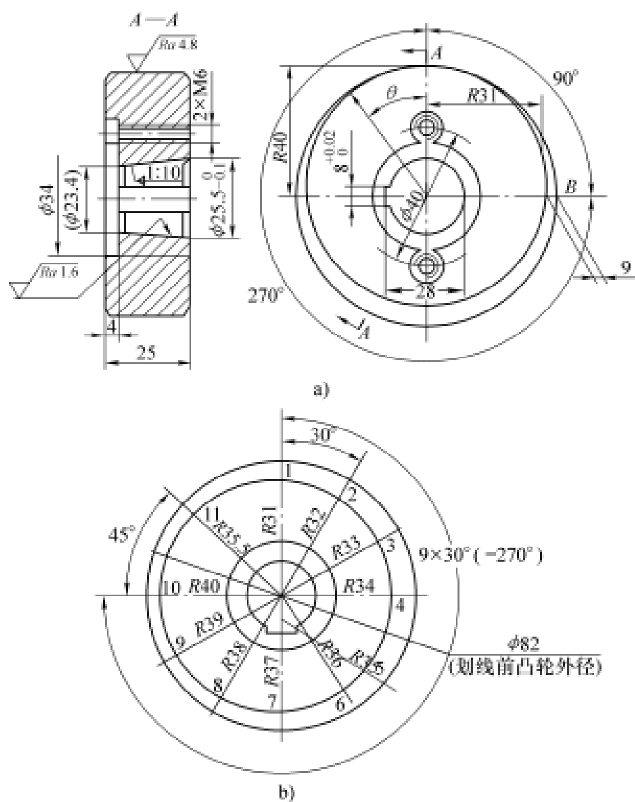

A—A
Ra 4.8
2×M6
1:10
φ34
(φ23.4)
φ25.5
Ra 1.6
4
25
A
90°
θ
R31
R40
8
φ40
B
9
28
270°
A
a)
30°
1
2
11
R35.5
R31
R32
45°
R33
3
9×30°(=270°)
10
R40
R34
4
R39
9
R38
R37
R36
R35
5
φ82
(划线前凸轮外径)
8
7
6
b)

图 13-16　凸轮

上升曲线，其升高量为 $H=40\text{mm}-31\text{mm}=9\text{mm}$；工作曲线$\overset{\frown}{BA}$为 270°→360°下降曲线，其 H 仍等于 9mm。划线前凸轮坯件除了外缘，其余部分均已加工至图样要求尺寸。其划线步骤如下：

1）以 ϕ25.5mm 的锥孔为基准，配作 1∶10 锥度心轴，先将心轴装夹在分度头的自定心卡盘上，校正，然后将凸轮坯件装夹在心轴上，以键槽定向，划出中心十字线（即定出 0 位）。

2）凸轮工作曲线$\overset{\frown}{AB}$在 270°范围内升高量 $H=9\text{mm}$。为计算方便，可将曲线分成 9 等份（或 18 等份），每等份为 30°（或 15°）。每等份升高量 $H=1\text{mm}$（或 0.5mm）。从 0 位起若按分度头每转过 30°作射线时，其分度头手柄应摇过 $3\frac{22}{66}$（即摇过 3 转后，再在 66 板孔上转过 22 孔），如图 13-16b 中的 1、2、3、…、10（在 0° ~ 270°范围内），共 10 条射线。此外，下降工作曲线 BA 按每等份 45°将曲线分成 2 等份（即分度头手柄再转过 5 转），再划一条射线。

3）凸轮工作曲线$\overset{\frown}{AB}$按 30°等分后，每等份升高量 $H=1\text{mm}$，定距离时，先将工件的“0”位转至最高点，用高度游标卡尺在射线 1 上截取 $R_1=31\text{mm}$ 得到第 1 点，然后将分度头转过 30°，在射线 2 上截取 $R_2=32\text{mm}$ 得到第 2 点，依此类推，直至到射线 10 上截取 $R_{10}=40\text{mm}$，得到第 10 点；再转过 45°，在射线 11 上截取 $R_{11}=35.5\text{mm}$，

得到第 11 点（图 13-16b）。

4）取下工件，用曲线板逐点连接工作曲线。注意连线时应保证曲线的圆滑准确。

在凸轮的加工线上冲出样冲孔，并在凸轮工作曲线的起始点做出标记。

13.2　钻削、铰削加工

13.2.1　钻孔㊀

1. 几种典型钻头举例

（1）分屑钻头（图 13-17）　分屑钻头适用于加工碳素钢与合金结构钢，分屑槽尺寸见表 13-2。

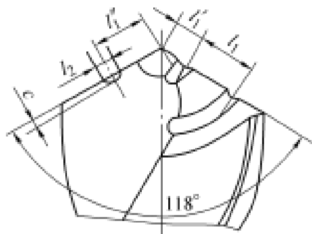


图 13-17　分屑钻头

横刃长度为 0.75 ~ 1.5mm，应注意修磨对称。采用分屑钻头，加工表面粗糙度可达 $Ra6.3 \sim 3.2\mu m$，钻头排屑好，有利于冷却，可提高钻头寿命和生产效率。

㊀ 标准麻花钻的结构、切削角度规格尺寸见第 5 章，标准麻花钻的刃磨和修磨见第 6 章。

表 13-2　分屑槽尺寸

钻头直径/mm	总槽数	l_2/mm	c/mm	l_1'/mm	l_1/mm	l_1''/mm
12～18	2	0.85～1.3	0.6～0.9	2.3	4.6	—
>18～35	3	1.3～2.1	0.9～1.5	3.6	7.2	7.2
>35～50	5	2.1～3	1.5～2	5	10	10*

注：有两条槽时，槽距应为 10mm，具体尺寸可按钻头直径决定。

（2）综合钻头（图 13-18）　综合钻头适用于加工铸铁件。钻头横刃长度为 0.5～1mm；双后角 $l/3$ 的后面 $\alpha_o=8°\sim12°$；其余为 45°；双重顶角，近外圆处为 75°；在 4～5mm 长度的棱边上磨出副后角 $\alpha_o'=6°\sim8°$；两主切削刃和过渡刃要修磨对称。

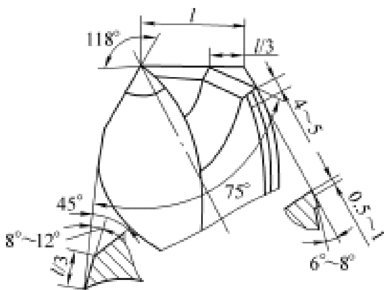


图 13-18　综合钻头

采用综合钻头，加工表面粗糙度可达 $Ra6.3\sim3.2\mu m$，可提高钻头寿命和生产效率。

（3）钻不锈钢钻头（图 13-19） 钻不锈钢钻头适用于加工不锈钢和耐热钢。钻头分屑槽尺寸 $l_2=1.5\sim1.75mm$，$c=0.5\sim0.6mm$，$l_1=\frac{d}{6}\sim\frac{d}{7}$。

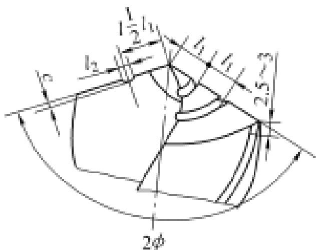


图 13-19 钻不锈钢钻头

修磨横刃，使该处为正前角，横刃长一般应根据钻头直径 d 确定，$d=6\sim25mm$，横刃长 $b=0.4\sim0.5mm$；$d=25\sim30mm$，$b=0.6\sim0.7mm$；$d>30mm$，$b=0.7\sim0.8mm$。

顶角和后角尺寸见表 13-3。

表 13-3 顶角与后角尺寸

钻头直径 d/mm	顶角 2ϕ/(°)	后角 α_o/(°)
≤15	135～140	12～15
>15～30	130～135	10～12

（续）

钻头直径 d/mm	顶角 2ϕ/(°)	后角 α_o/(°)
>30 ~40	125 ~130	8 ~10
>40	120 ~125	7 ~8

修磨棱边，宽度为0.5 ~1mm，后角为30°。

采用钻不锈钢钻头，加工表面粗糙度可达 $Ra6.3 \sim 3.2\mu m$，可提高钻头寿命和生产效率。加工时应注意经常清除切削刃上的积屑瘤，钻头未退出孔以前不要停车。

（4）钻铝合金钻头（图13-20） 钻铝合金钻头适用于加工铝合金材料件。钻头前角 $\gamma_o = 3° \sim 5°$，外刃圆角半径 $R = \frac{d}{4}$，横刃与前面一起修磨成光滑圆弧连接，前面背光，不易形成积屑瘤，切屑可顺利排出。

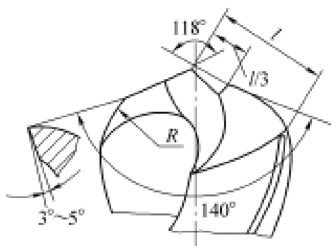


图13-20 钻铝合金钻头

采用钻铝合金钻头，加工表面粗糙度可达 $Ra6.3\sim3.2\mu m$，可提高钻头寿命和生产效率。

（5）钻高锰钢用硬质合金钻头（图 13-21） 钻高锰钢用硬质合金钻头适用于加工高锰钢材料。

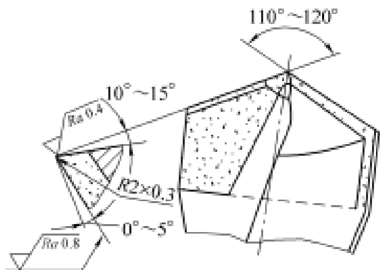


图 13-21 钻高锰钢用硬质合金钻头

钻头前角 $\gamma_o=0°\sim5°$，后角 $\alpha_o=10°\sim15°$，横刃斜角 $\psi=77°$，横刃长（b）：$d=16\sim18$mm 时，$b=1.2$mm；$d=20\sim22$mm 时，$b=1.5$mm；$d=24\sim30$mm 时，$b=1.8\sim2$mm。此外硬质合金刀片上，还应磨有与钻头轴线成 6°的斜角。

采用钻高锰钢用硬质合金钻头，最好用硫化乳化切削液，可提高钻头寿命和生产效率。

（6）精钻孔钻头（图 13-22） 精钻孔钻头适用于加工低碳钢、中碳钢和不锈钢扩孔。

钻头前角 $\gamma_o=15°\sim20°$，后角 $\alpha_o=15°\sim17°$，最外缘处≈30°，锋角修磨要对称，加工脆性材料时 $2\phi=100°\sim$

图 13-22 精钻孔钻头

115°，$2\phi_1=50°\sim60°$；加工韧性材料时 $2\phi=100°\sim110°$，$2\phi_1=45°\sim50°$，$B\approx0.2D$。棱边宽度为 0.2 ~ 0.4mm，副后角 $\alpha_o'=6°\sim8°$。

采用精钻孔钻头，加工尺寸公差等级可达 IT6 ~ IT8，表面粗糙度可达 $Ra0.8\sim0.4\mu m$。

（7）钻软橡胶钻头（图 13-23） 钻软橡胶钻头钻削软橡胶，表面粗糙度可达 $Ra6.3\mu m$。

（8）钻塑料、硬橡胶钻头（图 13-24） 钻塑料、硬橡胶钻头适用于加工塑料和硬橡胶件。

钻头修磨前面，加大前角，后角 $\alpha_o=30°$，横刃长为 0.3mm。

采用钻塑料、硬橡胶钻头，加工表面粗糙度可达 $Ra6.3\mu m$。

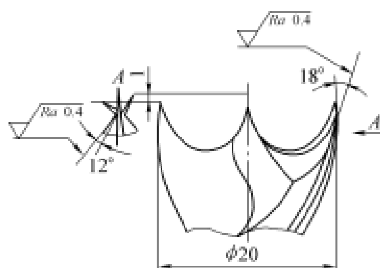


图 13-23　钻软橡胶钻头

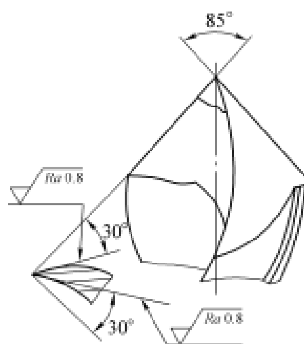


图 13-24　钻塑料、硬橡胶钻头

2. 钻孔方法

（1）钻削不同孔距精度所用的加工方法（表13-4）

表 13-4　钻削不同孔距精度所用的加工方法

孔距精度/mm	加工方法	适用范围
±（0.25～0.5）	划线找正、配合测量与简易钻模	单件、小批生产
±（0.1～0.25）	用普通夹具或组合夹具、配合快换卡头	小、中批生产
	盘、套类工件可用通用分度夹具	
±（0.03～0.1）	利用坐标工作台、百分表、量块、专用对刀装置或采用坐标、数控钻床	单件、小批生产
	采用专用夹具	大批、大量生产

（2）工件装夹方法

1）手握或用手虎钳夹持。钻直径6mm以下的小孔，如果工件能用手握住，而且基本比较平整时，可以直接用手握住工件进行钻孔。

对于短小工件，用手不能握持时，必须用手虎钳或小型台虎钳来夹紧（图13-25）。

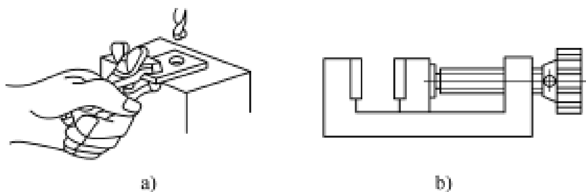


图 13-25　钻小孔时的装夹

a）用手虎钳夹持工件　b）小型台虎钳

对于较长工件，虽然可用手握住，但最好在钻床台面上再用螺钉靠住工件（图 13-26），这样比较安全。

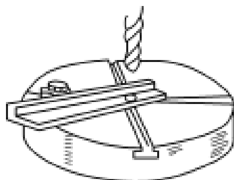


图 13-26　用螺钉靠住长工件

2）用机用平口虎钳装夹。在平整的工件上钻较大孔时，一般采用机用平口虎钳装夹。装夹时在工件下面垫一木块，如果钻的孔较大，机用平口虎钳应用螺钉固定在钻床工作台面上（图 13-27）。

3）用 V 形块装夹。在圆柱形或套筒类工件上钻孔时，一般把工件放在 V 形块上，并配以压板压紧（图 13-28）。

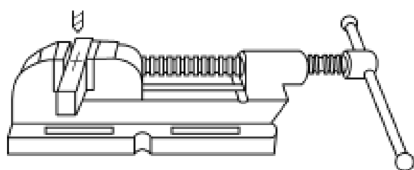


图 13-27　用机用平口虎钳装夹工件

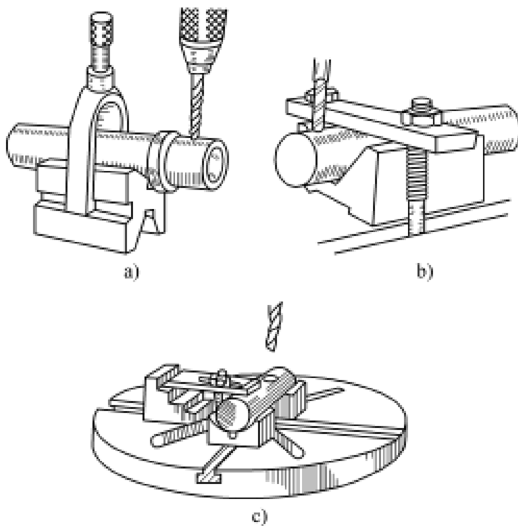


图 13-28　用 V 形块装夹工件

4）用角铁装夹。将工件装夹在已固定在钻床工作台面上的角铁上（图 13-29）。

5）在钻床工作台面上装夹工件。钻大孔或不适宜用机用平口虎钳装夹的工件，可直接用压板、螺栓把工件固定在钻床工作台面上（图 13-30）。

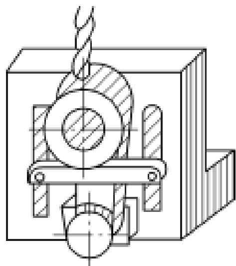


图 13-29　用角铁装夹工件

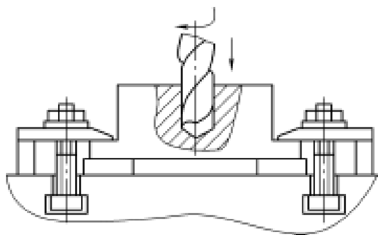


图 13-30　在钻床工作台面上装夹工件

（3）一般孔的加工方法

1）钻削通孔时，当孔快要钻穿时，应变自动进刀为手动进刀，以避免钻穿孔的瞬间因进给量剧增而发生啃刀，影响加工质量和损坏钻头。

2）钻不通孔（盲孔）时，应按钻孔深度调整好钻床上的挡块、深度标尺等，或采用其他控制方法，以免钻得过深或过浅，并应注意退屑。

3）一般钻削深孔时钻削深度达到钻头直径 3 倍时，钻头就应退出排屑。此后，每钻进一定深度，钻头就再退出排屑一次，并注意冷却润滑，防止切屑堵塞、钻头过热退火或扭断。

4）直径超过 30mm 的大孔，一般应分两次钻削，第一次用60% ~80%孔径的钻头，第二次用所需直径的钻头扩孔。扩孔钻头应使两条主切削刃长度相等、对称，否则会使孔径扩大。

5）钻 ϕ1mm 以下的小孔时，开始进给力要小，防止钻头弯曲和滑移，以保证钻孔试切的正确位置。钻削过程要经常退出钻头排屑和加注切削液。切削速度可选在 2000 ~3000r/min 以上，进给力应小而平稳，不宜过大过快。

（4）特殊孔的加工方法（表 13-5）

表 13-5　特殊孔的加工方法

钻孔形式	图　　示	方法要点
钻半（缺）圆孔		1）把两件合起来或用同样材料的垫板与工件并在一起钻（图 a） 2）用同样材料镶嵌在工件内，钻孔后去掉这块材料，就形成了缺圆孔（图 b）
钻骑缝孔		1）钻头伸出钻夹头的长度尽量短，且横刃应磨得较短 2）若两种零件材料不同，样冲眼应大部分打在硬材料上，并在钻孔时使钻头略往硬材料一边偏
钻斜面上的孔		1）先用样冲打一个较大的中心眼或用中心钻钻出中心孔，或用铣刀铣出个小平台，再用钻头钻孔（图 a） 2）先使斜面处于水平位置装夹工件，用钻头钻出一个浅窝，再使斜面倾斜一些装夹，将浅窝钻大，经几次倾斜逐渐扩大浅窝，然后放正工件正式钻孔 3）用斜面钻套进行钻孔（图 b）

（续）

钻孔形式	图　　示	方法要点
钻圆弧面上的孔		用圆弧面钻套进行钻孔
在工件凹腔内钻孔		用加长钻套进行钻孔。装卸工件时钻套可以提起，钻套上部孔径必须扩大，以减小与刀具的接触长度，减小摩擦
加工中心距较小的孔		用削边钻套进行钻孔。但应保证削边厚度 $b=1\sim2$mm
加工间断孔		用中间钻套进行钻孔。实际作用为双导向或多导向，以免钻头偏斜

（续）

钻孔形式	图　　示	方法要点
钻二联孔	样冲 a)　b) 接长钻杆 c)	1）先钻大孔至平底深度，再改用小钻头将小孔钻穿，然后用平底钻锪平底孔（图 a） 2）先钻出上面大孔。当钻头横刃刚接触下面孔平面时，用横刃划出一个小圆线，然后按小圆线找正中心，打一个样冲眼，再钻孔（图 b） 3）先钻出大孔，然后用一根外径与大孔为动配合的接长杆，装上中心钻头，先钻一个定位孔后，再换上与小孔直径相同的钻头钻孔（图 c）

（5）钻削时切削液的选用（表 13-6）

表 13-6　钻削时切削液的选用

加 工 材 料	切　削　液
碳钢、合金钢	1）3% ~5%乳化液 2）5% ~10%极压乳化液
不锈钢、高温合金	1）10% ~15%乳化液 2）10% ~20%极压乳化液 3）含氯（氯化石蜡）的切削油 4）含硫、磷、氯的切削油

（续）

加工材料	切削液
铸铁、黄铜	1）一般不加 2）3%～5%乳化液
纯铜、铝及其合金	1）3%～5%乳化液 2）煤油 3）煤油与菜籽油的混合油
硬橡胶、胶木、硬纸板	1）一般不加 2）风冷
有机玻璃	10%～15%乳化液

注：表中的百分数均为质量分数。

13.2.2 扩孔㊀

扩孔是用扩孔刀具对工件上已有的孔进行扩大加工，如钻孔、铸孔、锻孔和冲孔的扩大加工。扩孔可以作为孔的最终加工，也可作为铰孔、磨孔前的预加工工序。扩孔后，孔的尺寸公差等级一般可达 IT9～IT10，表面粗糙度值可达 Ra12.5～3.2μm。

1. 用麻花钻扩孔

在实际生产中，常用经修磨的麻花钻当扩孔钻使用。

在实心材料上钻孔，如果孔径较大，不能用麻花钻一次钻出，常用直径较小的麻花钻预钻一孔，然后用大直径的麻花钻进行扩孔（图 13-31）。

在预钻孔上扩孔的麻花钻，几何参数与钻孔时基本相

㊀ 扩孔钻的类型、规格范围见第 5 章。

同。由于扩孔时避免了麻花钻横刃切削的不良影响，可适当提高切削用量。同时，由于背吃刀量减小，使切屑容易排出，因此扩孔后，孔的表面粗糙度值也有一定的减小。

用麻花钻扩孔时，扩孔前的钻孔直径为孔径的50% ~70%，扩孔时的切削速度约为钻孔的1/2，进给量为钻孔的1.5 ~2 倍。

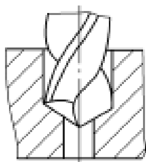


图 13-31　用麻花钻扩孔

2. 用扩孔钻扩孔

扩孔钻的切削条件要比麻花钻好。由于它的切削刃较多，因此扩孔时切削比较平稳，导向作用好，不易产生偏移。但为提高扩孔的精度，还应注意以下几点：

1）钻孔后，在不改变工件和机床主轴相互位置的情况下，立即换上扩孔钻，进行扩孔。这样可使钻头与扩孔钻的中心重合，使切削均匀平稳保证加工质量。

2）扩孔前先用镗刀镗出一段直径与扩孔钻相同的导向孔（图 13-32），这样可使扩孔钻在一开始就有较好的导向，而不致随原有不正确的孔偏斜。这种方法多用于在铸孔、锻孔上进行扩孔。

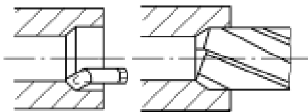


图 13-32　扩孔前的镗孔

3）也可采用钻套为导向进行扩孔。

13.2.3　锪孔㊀

用锪钻对工件的孔口表面进行各种成形加工，称为锪

㊀　锪孔钻的类型、规格范围见第 5 章。

孔（削）。常见锪孔的形式见表 13-7。

表 13-7　常见锪孔的形式

锪 孔 形 式	图　　例
锪圆柱形沉孔	
锪圆锥形沉孔	
锪凸台平面	

1. 用麻花钻改制锪钻

1）用标准磨花钻改制成带导柱平底锪钻（图13-33）。一般选用比较短的麻花钻，在磨床上把麻花钻的端部磨出圆柱形导柱，其直径 d 与工件上已有的孔采用f7的间隙配合。端面上切削刃用薄片砂轮磨出，后角一般为 $\alpha_o=8°$，磨花钻的螺旋槽与导柱面形成的刃口要用磨石磨钝。

若将标准麻花钻改制成不带导柱平底锪钻（13-34），则它既可锪圆柱形沉孔，又可以锪平孔口端面。如果将图

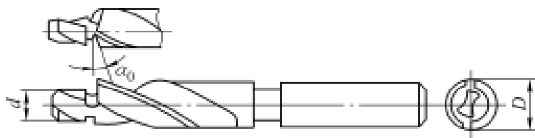


图 13-33　改制的带导柱平底锪钻

中凸尖部全部磨平，则可用来锪平不通孔的孔底。

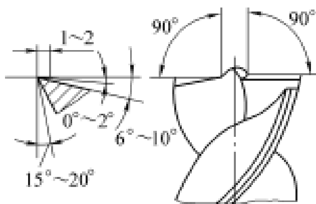


图 13-34　改制的不带导柱平底锪钻

2）用标准麻花钻改制成锥形锪钻（图 13-35）。其顶角 2ϕ 按沉头孔规定的角度确定。为了保证锪出的锥形沉头孔表面粗糙度值较小，后角磨得小些，一般取 $\alpha_o = 6° \sim 10°$，并有 1～2mm 倒棱，麻花钻外缘处的前角也磨得小一

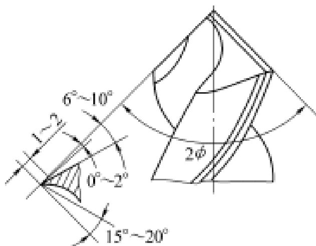


图 13-35　改制的锥形锪钻

些，一般取 $\gamma_o = 15° \sim 20°$，两切削刃要磨得对称。

2. 锪端面

1）简单端面锪钻。其结构形式如图 13-36 所示。它由刀杆（镗杆）和刀片（高速钢）组成。刀杆上的方孔与刀片尺寸以 h6 的间隙配合，并与刀杆轴心线垂直，刀杆的端部外圆直径与工件已有孔采用 f7 的间隙配合，以保证良好的引导作用，使锪出的端面与孔中心线垂直。

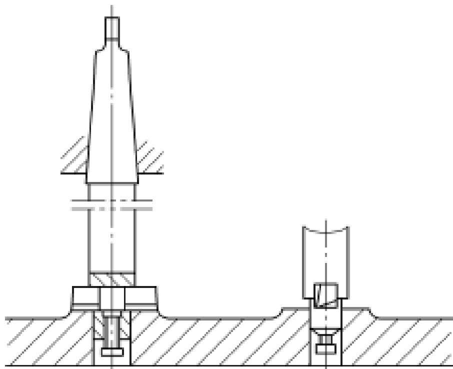


图 13-36　简单端面锪钻的结构形式

刀片的角度为：锪铸铁材料时 $\gamma_o = 5° \sim 10°$，锪钢材料时 $\gamma_o = 15° \sim 20°$，后角 $\alpha_o = 6° \sim 8°$，副后角 $\alpha_o' = 4° \sim 6°$。

图 13-37 所示为采用衬套作导向装置反锪端面。

2）多齿端面锪钻。多齿端面锪钻的刀体为套式，只在端面上有切削刃（图 13-38）。使用时与刀杆相配，靠紧定螺钉传递扭矩。刀杆的圆柱部分伸入工件已有孔内，起导向作用，保证锪削的平面与孔中心线垂直。由于端面

锪钻的加工对象主要是铸铁件，因此一般刀体上是镶硬质合金刀片。

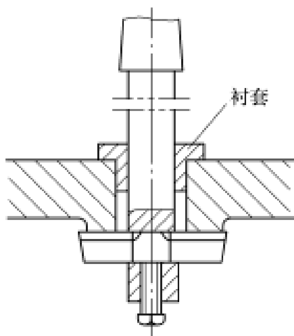


图 13-37　采用衬套作导向装置反锪端面

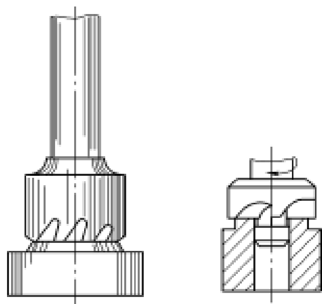


图 13-38　多齿端面锪钻

13.2.4　铰孔㊀

用铰刀对已经粗加工的孔进行精加工称为铰削（铰孔）。铰削可提高孔的尺寸精度和减小表面粗糙度值，铰削后孔的尺寸公差等级可达 IT9 ~IT7，表面粗糙度可达 Ra3.2 ~0.8μm。

1. 铰刀直径的确定及铰刀的研磨

铰刀的直径和公差直接影响被加工孔的尺寸精度。在确定铰刀的直径和公差时，应考虑被加工孔的公差，铰孔时的扩张或收缩量，铰刀使用时的磨损量，以及铰刀本身的制造公差等。

㊀　铰刀的类型、规格范围见第 5 章。

铰孔后孔径可能缩小，其缩小因素很多，目前对收缩量的大小尚无统一规定。一般对铰刀直径的确定多采用经验数值。

铰削基准孔时铰刀公差可按下式确定：

$$上极限偏差 = \frac{2}{3}被加工孔公差$$

$$es = \frac{2}{3}IT$$

$$下极限偏差 = \frac{1}{3}被加工孔公差$$

$$ei = \frac{1}{3}IT$$

例 1　若工件被加工孔的尺寸为 $\phi16^{+0.027}_{0}$ mm，求所用铰刀的直径尺寸。

解：铰刀直径的基本尺寸应为 $\phi16$mm。

铰刀公差：

$$上极限偏差\ es = \frac{2}{3}IT = \frac{2}{3} \times 0.027mm = 0.018mm$$

$$下极限偏差\ ei = \frac{1}{3}IT = \frac{1}{3} \times 0.027mm = 0.009mm$$

因此，所选用铰刀尺寸应为 $\phi16^{+0.018}_{+0.009}$mm。

新的标准圆柱铰刀，直径上留有研磨余量，而且棱边的表面粗糙度也较大，所以铰削标准公差等级为 IT8 以上的孔时，先要将铰刀直径研磨到所需要的尺寸精度。

研磨铰刀的工具有以下几种：

1）径向调整式研磨工具。如图 13-39 所示，它是由壳套、研套和调整螺钉组成的。孔径尺寸用精镗或由待研

的铰刀铰出，研套上铣出开口斜槽，由调整螺钉控制研套弹性变形，进行研磨以达到要求的尺寸。

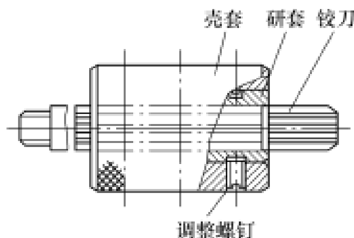


图 13-39　径向调整式研磨工具

径向调整式研磨工具制造方便，但研套的孔径尺寸不易调成一致，所以研磨的精度不高。

2）轴向调整式研磨工具。如图 13-40 所示，它是由壳套、研套、调整螺母和限位螺钉组成的。研套和壳套以圆锥配合。研套沿轴向铣有开口直槽，这样可依靠弹性变形改变孔径的尺寸。研套外圆上还铣有直槽，可在限位螺钉的控制下，只能做轴向移动而不能转动。再旋动两端的调整螺母，研套在轴向移动的同时使孔径得到调整。

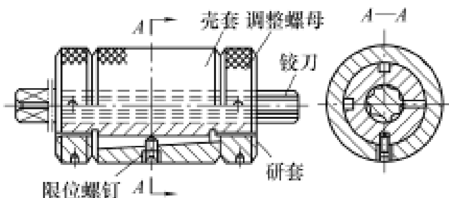


图 13-40　轴向调整式研磨工具

轴向调整式研磨工具的研套孔径胀缩均匀、准确，能使尺寸公差控制在很小的范围内，所以适用于研磨精密铰刀。

3）整体式研磨工具。如图 13-41 所示，它是由铸铁棒经加工后，孔径尺寸最后由待研的铰刀铰出。这种研具制造简单，但没有调整量，只适用于研磨单件生产精度要求不高的铰刀。

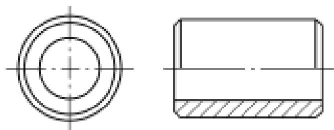


图 13-41　整体式研磨工具

研磨工具的研套材料常用铸铁。所用的研磨剂可根据所用铰刀的具体情况，选用“刚玉研磨膏”“碳化硅、碳化硼研磨膏”或“人造金刚石研磨膏”。

无论采用哪种研具，研磨方法都相同。铰刀用两顶尖和拨盘装夹在车床上。研磨时铰刀由拨盘带动旋转（图 13-42）。旋转方向要与铰削方向相反，转速以 40 ~ 60r/min为宜。研具套在铰刀的工作部分上，将研套孔的尺寸调整到能在铰刀上自由滑动和转动为宜。研磨剂放置要均匀。研磨时，用手握住研具做轴向均匀的往复移动。

研磨过程中要随时注意检查，及时清除铰刀沟槽中的研垢，并重新换上研磨剂再研磨。

2. 铰刀在使用中的修磨

铰刀在使用中可以通过手工修磨，保持和提高其良好

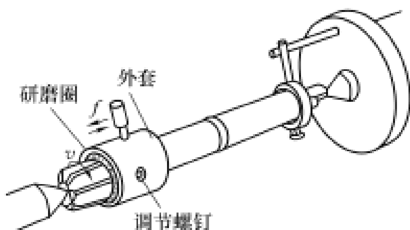


图 13-42　铰刀的研磨

的切削性能。

1）研磨或修磨后的铰刀，为了使切削刃顺利地过渡到校准部分，必须用磨石仔细地将过渡处的尖角修成小圆弧（图13-43），并要求各齿圆弧大小一致，以免因圆弧不一致而产生径向偏摆。

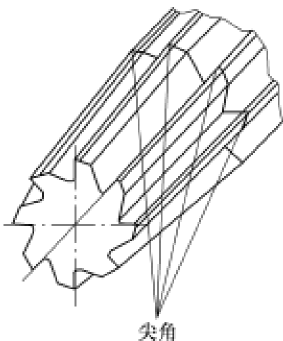


图 13-43　切削刃与校准部分过渡处尖角

2）铰刀刃口有毛刺或粘接切屑瘤时，要用磨石研掉。

3）切削刃后面磨损不严重时，可用磨石沿切削刃垂直方向，轻轻研磨，加以修光（图 13-44）。

若要将铰刀刃带宽度磨窄时，也可用上述方法将刃带研出 1°左右的小斜面（图 13-45），并保持需要的刃带宽

度。但研磨后面时，不能将磨石沿切削刃方向推动（图13-46），这样很可能将刀齿刃口磨圆，从而降低其切削性能。

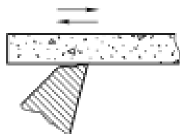


图 13-44　铰刀后面的研磨

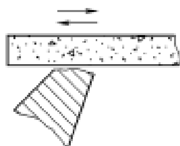


图 13-45　修磨铰刀刃带

4）当刀齿前面需要研磨时，应将磨石紧贴在前面上，沿齿槽方向轻轻推动进行研磨，但应特别注意不要研坏刃口。

5）铰刀在研磨时，切勿将刃口研凹，必须保持铰刀原有的几何形状。

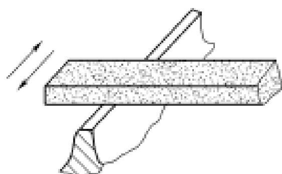


图 13-46　不正确的研磨方法

3. 手工铰孔操作要点

1）工件装夹位置要正确，应使铰刀的中心线与孔的中心线重合。对薄壁工件夹紧力不要过大，以免将孔夹扁，铰削后产生变形。

2）在铰削过程中，两手用力要平衡，旋转铰手的速度要均匀，铰手不得摆动，以保持铰削的稳定性，避免将孔径扩大或将孔口铰成喇叭形。

3）铰削进给时，不要用过大的力压铰手，而应随着铰刀的旋转轻轻地对铰手加压，使铰刀缓慢地引伸进入孔

内，并均匀地进给，以保证孔的加工质量。

4）注意变换铰刀每次停歇的位置，以消除铰刀在同一处停歇所造成的振痕。

5）铰刀不能反转，即使退刀时也不能反转，即要按铰削方向边旋转边向上提起铰力。铰刀反转会使切屑卡在孔壁和后面之间，将孔壁刮毛。同时，铰刀也容易磨损，甚至造成崩刃。

6）铰削钢料工件时，切屑碎末容易粘附在刀齿上，应经常清除。

7）铰削过程中，如果铰刀被切屑卡住时，不能用力扳转铰手，以防损坏铰刀。应想办法将铰刀退出，清除切屑后，再加切削液，继续铰削。

4. 机动铰孔操作要点

1）必须保证钻床主轴、铰刀和工件孔三者的同轴度。当孔精度要求较高时，应采用浮动式铰刀夹头装夹铰刀，以调整铰刀的轴线位置。

常用浮动式铰刀夹头有两种。图 13-47 所示是一种比较简单的浮动式铰刀夹头，图中只有销轴与夹头体为间隙配合，装锥柄铰刀的套筒只能在此轴转动方向有浮动范围。所以铰刀轴线的调整受到一定限制，只适用于轴线偏差不大的工件采用。图 13-48 所示为万向浮动式铰刀夹头，图中套筒上端为球面，与垫块零件以点接触，这样，在销轴与夹具体配合间隙许可的范围内，铰刀的浮动范围得到扩大，所以铰刀可以在任意方向调整铰刀轴线的偏差。这种铰刀夹头适用于要求精度较高孔的加工。

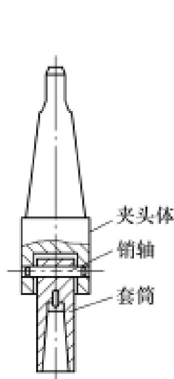


图 13-47　浮动式铰刀夹头

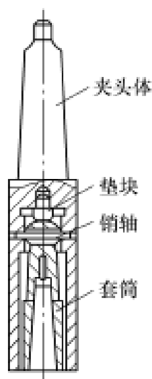


图 13-48　万向浮动式铰刀夹头

2）开始铰削时先采用手动进给，当铰刀切削部分进入孔内以后，再改用自动进给。

3）铰削不通孔时，应经常退刀，清除刀齿和孔内的切屑，以防切屑刮伤孔壁。

4）铰削通孔时，铰刀校准部分不能全部铰出头，以免将孔的出口处刮坏。

5）在铰削过程中，必须注入足够的切削液，以清除切屑和降低切削温度。

6）铰孔完毕，应不停车退出铰刀，以免停车退出时拉伤孔壁。

5. 圆锥孔的铰削

1）铰削尺寸较小的圆锥孔。先按圆锥孔小端直径并

留铰削余量钻出圆柱孔，孔口按圆锥孔大端直径锪出45°的倒角，然后用圆锥铰刀铰削。在铰削过程中一定要及时地用精密配锥（或圆锥销）检查控制尺寸（图13-49）。

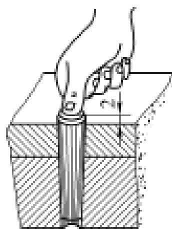


图 13-49 用圆锥销检查铰孔尺寸

2）铰削尺寸较大的圆锥孔。铰孔前先将工件钻出阶梯孔（图13-50）。

1∶50的圆锥孔可钻两节阶梯孔。1∶10圆锥孔、1∶30圆锥孔、莫氏锥孔、圆锥管螺纹底孔可钻三节阶梯孔。阶梯孔的最小直径按锥孔小端直径确定，并留有铰削余量。其余各段直径可根据锥度计算公式算得。

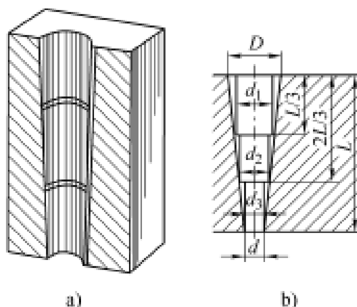


图 13-50 预钻阶梯孔

6. 铰削余量的选择

正确选择铰削余量，既能保证加工孔的精度又能提高

铰刀的使用寿命。铰削余量应依据加工孔径的大小、精度、表面粗糙度、材料的软硬、上道工序的加工质量和铰刀类型等多种因素进行选择。若对铰削精度要求较高的孔，必须经过扩孔或粗铰孔工序后进行精铰孔，这样才能保证铰孔的质量。一般铰削余量的选择可参见表 13-8。

表 13-8　铰削余量的选择　　（单位：mm）

铰孔直径	<5	5～20	21～32	33～50	51～70
铰孔余量	0.1～0.2	0.2～0.3	0.3	0.5	0.8

7. 铰削时切削液的选用（表 13-9）

表 13-9　铰削时切削液的选用

加工材料	切　削　液
钢	1）10%～20%乳化液 2）铰孔要求高时，采用 30%菜籽油和 70%肥皂水 3）铰孔要求更高时，可采用菜籽油、柴油、猪油等
铸铁	1）一般不用 2）煤油，但引起孔径缩小，最大收缩量 0.02～0.04mm 3）低浓度乳化液
铝	煤油
铜	乳化液

注：表中的百分数均为质量分数。

13.3　刮削

刮削是在标准工具的工作面上涂以显示剂，与被刮工件两者合研显点（凸点），然后利用刮刀将高度金属刮除。这种方法具有切削量小、切削力小、产生热量少、加工方便和装夹变形小等特点。通过刮削后的工件表面，能获得很高的几何精度、尺寸精度、接触精度、传动精度，降低表面粗糙度。另外刮削后留下的一层薄花纹，既可增加工件表面的美观又可储油，可以润滑工件接触表面，减小摩擦，提高工件使用寿命。

由于刮削使用的工具简单，不受工件形状和位置的限制而能获得很高的精度，所以较广泛地应用于机械制造中，如机床导轨面、转动轴颈和滑动轴承之间接触面、工具和量具的接触面以及密封表面等的加工。

13.3.1　常见刮削应用及刮削面种类

1. 常见刮削应用举例（表 13-10）

表 13-10　常见刮削应用举例

应用举例	刮削后的效果
相互运动的导轨副	有良好的接触率，承受压力大，耐磨性好，运动精度稳定
相互连接的接合面	增加连接刚性，传动件几何精度稳定，不易变形
密封性接合面	提高密封性能，防止气体和液体泄漏

（续）

应用举例	刮削后的效果
具有配合公差的面（孔）	有良好的接触率、理想的配合精度，运动件精度稳定
机床装配几何精度	使各部件之间相互精度要求一致，保证机床工作精度

2. 刮削面种类（表 13-11）

表 13-11 刮削面种类

种类		示例
平面	单个平面	平板、平尺、工作台面等
	组合平面	V 形导轨面、燕尾槽导轨面、矩形导轨面等
曲面	圆柱面、圆锥面	圆孔、锥孔滑动轴承，圆柱导轨，锥形圆环导轨等
	球面	自位球面轴承、配合球面等
	成形面	齿条、蜗轮的齿面等

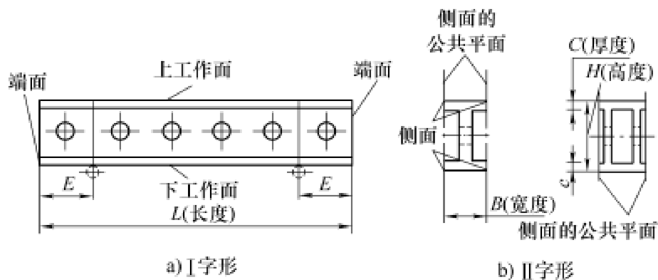
13.3.2 刮削工具

1. 铸铁平尺

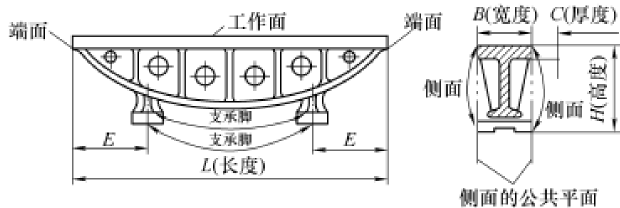
铸铁平尺的精度分 00 级、0 级、1 级、2 级等四级。铸铁平尺形状及基本尺寸见表 13-12。

表 13-12　铸铁平尺形状及基本尺寸（摘自 GB/T 24760—2009）

（单位：mm）



a) Ⅰ字形　　b) Ⅱ字形



c) 桥形

（续）

规　　格	Ⅰ字形和Ⅱ字形平尺				桥形平尺			
	L	*B*	*C*	*H*	*L*	*B*	*C*	*H*
400	400	30	⩾8	⩾75	—	—	—	—
500	500	30	⩾8	⩾75	—	—	—	—
630	630	35	⩾10	⩾80	—	—	—	—
800	800	35	⩾10	⩾80	—	—	—	—
1000	1000	40	⩾12	⩾100	1000	50	⩾16	⩾180
1250	1250	40	⩾12	⩾100	1250	50	⩾16	⩾180
1600	1600 *	45	⩾14	⩾150	1600	60	⩾24	⩾300
2000	2000 *	45	⩾14	⩾150	2000	80	⩾26	⩾350
2500	2500 *	50	⩾16	⩾200	2500	90	⩾32	⩾400

（续）

规格	Ⅰ字形和Ⅱ字形平尺				桥形平尺			
	L	*B*	*C*	*H*	*L*	*B*	*C*	*H*
3000	3000 *	55	≥20	≥250	3000	100	≥32	≥400
4000	4000 *	60	≥20	≥280	4000	100	≥38	≥500
5000	—	—	—	—	5000	110	≥40	≥550
6300	—	—	—	—	6300	120	≥50	≥600

测试项目	精度等级			
	00	0	1	2
25mm × 50mm 单位面积内接触点面积的比率	≥20%		≥16%	≥10%
25mm × 25mm 面积内接触点数	≥25			≥20

注：1. 带“ * ”尺寸，建议制成Ⅱ字形平尺。

2. 距工作面边缘 0.01*L*（最大为 10mm）范围内接触点面积的比率或接触点数不计，且任意一点都不得高于工作面。

2. 专用刮研工具（表 13-13）

表 13-13　专用刮研工具

名称	简　　图	用　　途
燕尾平板		用于检验凸燕尾导轨
组合平板		用于检验由一个平面和一个 V 形面组合的导轨

3. 刮刀

（1）刮刀的种类及用途　根据刮削面形状的不同，刮刀可分为平面刮刀和曲面刮刀两大类。

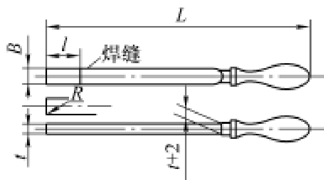
1）平面刮刀。主要用来刮削平面，如平板、平面导板、工作台等，也可用来刮削外曲面。按所刮削表面精度要求的不同，平面刮刀还可分为粗刮刀、细刮刀和精刮刀三种。

平面刮刀的种类及用途见表 13-14。

2）曲面刮刀。主要用来刮削内曲面，如滑动轴承内孔等。常用曲面刮刀的特点及用途见表 13-15。

表 13-14　平面刮刀的种类及用途　　　（单位：mm）

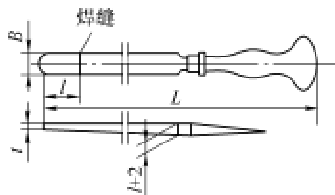
（1）普通手推平面刮刀



种类＼尺寸	*L*	*l*	*B*	*t*	*R*	用　　途
粗刮刀	450 ~ 600	150	25 ~ 30	4 ~ 4. 5	120	粗刮
细刮刀	350 ~ 450	100	25	3 ~ 3. 5	60	细刮
精刮刀	300 ~ 350	75	20	2. 5 ~ 3	50	精刮或刮花
小刮刀	200 ~ 300	50	15	2. 5	40	小工件精刮

（续）

（2）挺刮式平面刮刀



种类＼尺寸	L	l	B	t	用　　途
大号	600 ~ 700	150	25 ~ 30	4 ~ 5	粗刮大平面
小号	450 ~ 600	150	20 ~ 25	3.5 ~ 4	细刮大平面

（续）

（3）拉刮刀	
形状和尺寸	用　　途
	刀体呈曲形，弹性较强，刮削出的工件表面光洁，常用于精刮和刮花，也可拉刮带有台阶的平面
（4）双刃刮花刀	
形状和尺寸	用　　途
	专用于刮削交叉花纹

表 13-15　常用曲面刮刀的种类及用途

名称	图　　示	用　　途
三角刮刀		常用三角锉刀改制，用于刮削各种曲面
蛇头刮刀	A—A　A　A	刀头部具有三个带圆弧形的切削刃，刀平面磨有凹槽，切削刃圆弧大小视工件的粗、精刮而定（粗刮刀圆弧的曲率半径大，精刮刀圆弧曲率半径小）。刮削时不易产生振痕，适用于精刮各种曲面
柳叶刮刀	A—A　A　A	有两个切削刃，刀尖为精刮部分，后部为强力刮削部分，适用于精刮余量不多的各种曲面

（2）刮刀材料和热处理方法　刮刀的材料一般采用碳素工具钢，如 T8、T10、T12、T12A 钢等，或轴承钢，如 GCr15 钢锻制而成。当刮削硬质材料时，也可将硬质合金刀片焊在刀杆上使用。

刮刀采用碳素工具钢或轴承钢时，刮刀粗磨好后的热处理过程由淬火加上回火组成。方法是用氧乙炔焰或炉中加热至 780～800℃（呈暗橘红色）后，迅速从炉中取出，并垂直地把刮刀放入冷却液中冷却（浸入深度，平面刮刀为 5～8mm，三角刮刀为整个切削刃，蛇头刮刀为圆弧部分），将刮刀沿着液面缓慢地移动（图 13-51），由此造成液面波动，使淬硬与不淬硬部分不致有明显的界限，避免了刮刀在淬硬与不淬硬的界限处断裂。待冷却到刮刀露出部分呈黑色时，由冷却液中取出，这时利用刮刀上部的余热进行回火。当刮刀浸入冷却液部分的颜色呈白色后，再迅速将刮刀全部浸入冷却液中，至完全冷却后再取出。

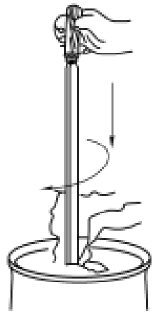


图 13-51　刮刀淬火

冷却液有三种：

1）水。一般用于平面粗刮刀及刮削铸铁或钢的曲面刮刀的淬火，淬火后硬度一般低于 60HRC。

2）质量分数为 15% 的盐溶液。用于刮削较硬金属的平面刮刀的淬火，淬火后硬度一般大于 60HRC。

3）油。一般用于曲面刮刀及平面精刮刀的淬火，淬

火后硬度在60HRC左右。

（3）刮刀的刃磨方法

1）平面刮刀的刃磨。平面刮刀的刃磨，分三个阶段进行，即粗磨、细磨和精磨。

① 粗磨。粗磨是在砂轮上进行的，使刀头基本成形，然后进行热处理。

② 细磨。刮刀淬火后进行细磨，先磨刮刀两个平面（图13-52a）。将两个平面分别在砂轮的侧面磨平，要求达到平整，厚薄均匀，再将头部长度30～60mm的平面磨到厚度为1.5～4mm（一般刮刀切削部分的厚度）的平面。

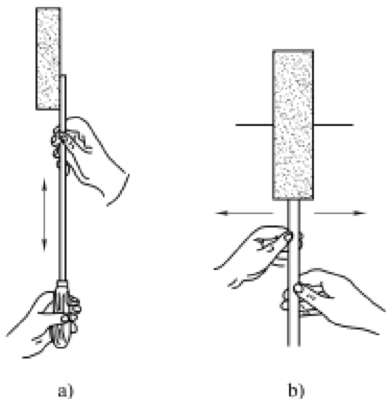


图13-52　平面刮刀的刃磨

a）磨平面　b）磨顶端面

然后磨出刮刀两侧窄面。最后将刮刀的顶端面在砂轮的外圆弧面上（图 13-52b）平稳地左右移动，刃磨到顶端面与刀身中心线垂直即可。

③ 精磨。经细磨后的刮刀，切削刃还不能符合平整和锋利的要求，必须在磨石上进行精磨。精磨时，应在磨石表面上滴上适量润滑油，先磨两个平面，再磨端面。

在磨两个平面时（图 13-53a），使刀头的平面平贴在磨石上来回移动。一面磨好后再磨另一面。刮刀两平面经过多次反复刃磨，直到平面光洁平整为止。如图 13-53b 所示的磨法是错误的，这种磨法，会使平面磨成弧面，刃口不锋利。

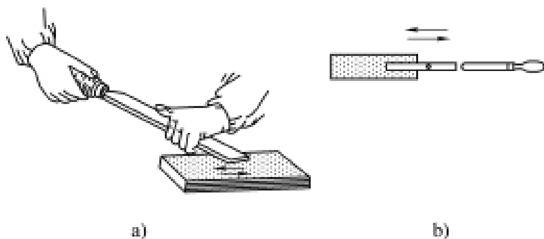


图 13-53　刮刀平面的精磨

a）正确　b）错误

刃磨刮刀顶端面（图 13-54）时，右手握住靠近刀头部分，左手扶住刀柄，使刮刀直立在磨石上，略带前倾做来回移动。当右手向前推时，刮刀稍微向前倾斜，使刀端

前半面在磨石上磨动，向后拉回时，应略提起刀身，以免磨损刃口。当前半面磨好后，把刮刀翻转 180°，再用同样方法磨刮刀的另半面，这样反复刃磨，直到符合精度要求为止。

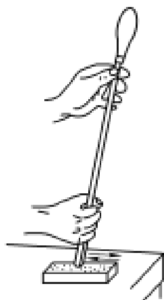


图 13-54　刃磨刮刀顶端面的方法（一）

图 13-55 所示是刃磨刮刀顶端面的又一种方法，用两手握住刀身，并将刮刀上部靠在操作者的肩前部，呈一定斜角；然后两手施加压力，将刮刀向后拉动，刃磨刀端的一个半面，当刮刀向前移动时，应将刮刀提起，以免损伤刃口，此半面磨好后，将刮刀翻转 180°，再用同样的方法刃磨另一半面，直至符合精度要求为止。这种方法容易掌握，但刃磨速度较慢。



图 13-55　刃磨刮刀顶端面的方法（二）

刃磨刮刀顶端面时，应按粗刮刀、细刮刀、精刮刀的不同，磨出不同的楔角，如图 13-56 所示。

粗刮刀：β 为 90°～92.5°，切削刃必须平直。

细刮刀：β 为 95°左右，切削刃稍带圆弧。

精刮刀：β 为 97.5°左右，切削刃呈圆弧形，而圆弧半径要小于细刮刀。

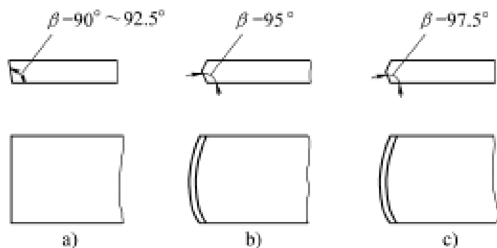


图 13-56　刮刀头部的形状和角度

a）粗刮刀　b）细刮刀　c）精刮刀

2）曲面刮刀的刃磨。

① 三角刮刀的刃磨。一般先将锻好的毛坯在砂轮上粗磨（图 13-57）。右手握住三角刮刀刀柄，左手将刮刀的刃口以水平位置轻压在砂轮的外圆弧面上，按切削刃弧形来回摆动。一面刃磨完毕后再以同样方法刃磨其他两面，使三个面的交线形成弧形的切削刃。接着如图 13-58 所示，将三角刮刀的三个圆弧面在砂轮角上开槽。磨削时刮刀应上下左右移动，刀槽要开在两刃中间，切削刃边上只留 2～3mm 的棱边。

三角刮刀淬火后，必须在磨石上进行精磨。如图

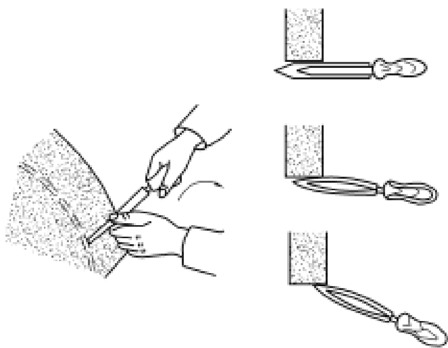


图 13-57 粗磨三角刮刀的三个弧面

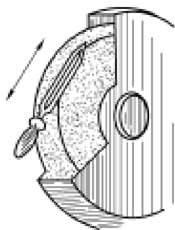


图 13-58 三角刮刀的开槽

13-59所示，刃磨时右手握住刮刀的刀柄，左手压在切削刃上，将刮刀的两个切削刃同时放在磨石上，由于中间有槽，因此两切削刃边上只有窄的棱边被磨到。使切削刃沿着磨石长度方向来回移动，在切削刃来回移动的同时，还要按切削刃的弧形做上下摆动，直到切削刃锋利为止。

② 蛇头刮刀两平面的粗磨和精磨方法均与平面刮刀相似。刀头的刃磨及开槽方法与三角刮刀相似。

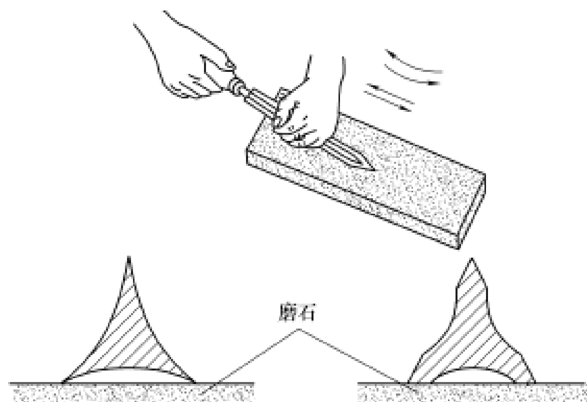


图 13-59　三角刮刀的精磨

13.3.3　刮削用显示剂的种类及应用（表 13-16）

表 13-16　刮削用显示剂的种类及应用

种类	成　分	特　点	应　用　范　围
红丹	一氧化铅再度氧化制成，俗称铅丹。配方为： 红丹：N32G 液压油：煤油≈100:7:3	呈橘黄色，粒度细腻，研点真实，无腐蚀作用，但研点后颜色较淡，对眼睛有反光刺激，虽有铅毒现象产生，但对人体伤害轻微	应用于铸钢件及部分有色金属的刮削，是金属切削机床机械加工接合面接触检验及评定，以及锥孔接触精度评定的显示剂

（续）

种类	成　分	特　点	应　用　范　围
红丹	氧化铁红配方同上	呈红褐色，粒度较粗，研点清楚，对眼睛无反光刺激作用	可用于铸钢件及部分非铁金属的刮削，但不能作为接触精度评定的显示剂
普鲁士蓝油	普鲁士蓝粉混和适量 L-AN 牌号的润滑油与蓖麻油	呈深蓝色，研点小而清楚，刮点显示真实，当室内温度较低时不易涂刷	用于精密零件，特别适用于有色金属刮削和检验
印红油	碱性品红溶解在乙醇中，加入甘油配制而成	呈鲜红色，对眼睛略有反光刺激，取材方便	用于锥孔接触及刮削面的接触判别，但不作为评定用显示剂
烟墨油	烟墨与 L-AN 牌号润滑油混合	点子成黑色，研点小而清楚	用于表面呈银白色的金属刮削和检验，较少采用
松节油或酒精	松节油或酒精	研点发光亮，特别精细真实，对零件有腐蚀作用，对眼睛有反光刺激	用于精密零件的刮削与检验，较少采用

在使用显示剂时，关键是显示剂的调和及涂布。显示

剂的调和稀稠要适当，粗刮时，显示剂应当调稀些，这样不仅便于涂布，而且显示出的研点也大些。同时，一般应将显示剂涂在标准平板表面上，这样在刮削过程中，切屑不易粘附在刃口上，刮削比较方便。精刮时，显示剂可调和得稠些，涂布时应薄而均匀，一般应将显示剂涂布在工件表面上。这样工件表面显示出的研点呈红底黑点，不反光，容易看清，便于提高刮削精度。

13.3.4 刮削余量

1. 平面刮削余量（表 13-17）

表 13-17 平面刮削余量 （单位：mm）

零件宽度	零件长度				
	100 ~ 500	500 ~ 1000	1000 ~ 2000	2000 ~ 4000	4000 ~ 6000
≤100	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
>100 ~ 500	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
>500 ~ 1000	0.25	0.25	0.35	0.45	0.50

2. 内孔刮削余量（表 13-18）

表 13-18 内孔刮削余量 （单位：mm）

内孔直径	内孔长度		
	≤100	>100 ~ 200	>200 ~ 300
≤80	0.04 ~ 0.06	0.06 ~ 0.09	0.09 ~ 0.12
>80 ~ 120	0.07 ~ 0.10	0.10 ~ 0.13	0.13 ~ 0.16
>120 ~ 180	0.10 ~ 0.13	0.13 ~ 0.16	0.16 ~ 0.19
>180 ~ 260	0.13 ~ 0.16	0.16 ~ 0.19	0.19 ~ 0.22
>260 ~ 360	0.16 ~ 0.19	0.19 ~ 0.22	0.22 ~ 0.25

13.3.5　刮削精度要求

刮削面的精度常用（25×25）mm^2 内的研点数目表示。

1. 平面刮点要求（表 13-19）

表 13-19　平面刮点要求

表面类型	每（25×25）mm^2 内的点数	刮削前工件表面粗糙度 $Ra/\mu m$	应用举例
超精密面	>25	3.2	0 级平板，精密量仪
精密面	20~25	3.2	1 级平板，精密量具
	16~20	6.3	精密机床导轨、精密滑动轴承
一般	12~16	6.3	机床导轨及导向面，工具基准面
	8~12	6.3	一般基准面，机床导向面，密封接合面
	5~8	6.3	一般接合面
	2~5	6.3	较粗糙机件的固定接合面

2. 滑动轴承刮点要求（表 13-20）

表 13-20　滑动轴承刮点要求

轴承直径/mm	金属切削机床			锻压设备、通用机械		动力机械、冶金设备	
	机床精度等级			重要	一般	重要	一般
	Ⅲ级和Ⅲ级以上	Ⅳ级	Ⅴ级				
	每（25×25）mm^2 的刮点数						
≤120	20	16	12	12	8	8	5
>120	16	12	10	8	6	6	2

3. 金属切削机床刮点要求（表 13-21）

表 13-21　金属切削机床刮点要求

机床精度等级	静压、滑、滚导轨		移置导轨		镶条压板滑动面	特别重要接合面
	每条导轨宽度/mm					
	≤250	>250	≤100	>100		
	接触点数[每(25×25)mm^2]					
Ⅲ级和Ⅲ级以上	20	16	16	12	12	12
Ⅳ级	16	12	12	10	10	8
Ⅴ级	10	8	8	6	6	6

13.3.6　刮削方法

1. 平面的刮削方法

（1）显点方法　显点方法应根据工件的形状和刮削面积的大小而定。

工件显点前，被刮削表面一般都存在很小的毛刺，应用研磨平整的大磨石，轻轻地在被刮削表面上清除毛刺后，才能涂上显示剂显点。

中小型工件显点，一般是标准平板固定，工件被刮削面在平板上推研（图 13-60）。研点时，施加压力要均匀，运动轨迹一般呈 8 字形或螺旋形，也可直线推拉。工件被刮面小于平板时，研点范围不应超出平板；被刮面等于或大于平板时，允许工件超出平板，超出部分应小于工件长度的 1/3。

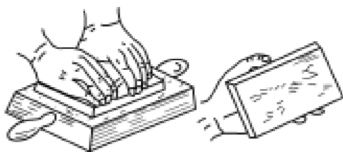


图 13-60　平面的显点方法

大型工件显点，工件要固定，标准工具在工件被刮削表面上研点。标准工具超出工件被刮削表面的长度，应小于标准工具的 1/5。

质量不对称工件的显点，推研时应在工件适当部位托或压（图 13-61），托或压的力的大小要适当、均匀、平稳。

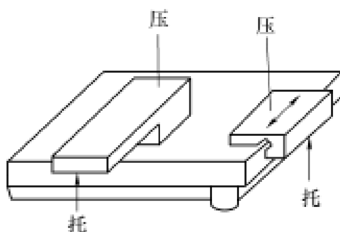


图 13-61　质量不对称工件显点方法

（2）平面的刮削方式

1）手推式。如图 13-62 所示，右手握刀柄，左手握刀杆，距切削刃 50～70mm 处，刮刀与被刮削表面成 25°～30°。同时，左脚前跨一步，上身向前倾，刮削时，右臂利用上身摆动向前推，左手向下压，并引导刮刀运动方向，在下压推挤的瞬间迅速抬起刮刀，这样就完成了一次刮削动作。

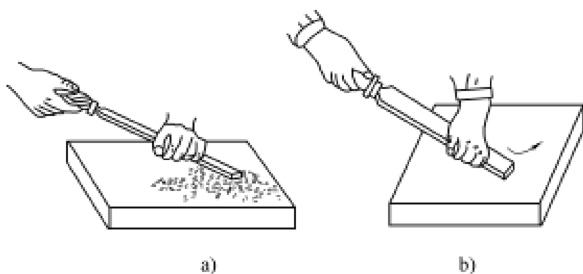


图 13-62　手推式刮削

2）挺刮式。如图 13-63 所示，将刮刀柄（圆柄处）顶在小腹下侧，双手握刀杆离刃口 70～80mm 处，左手在前，右手在后，刮削时，左手下压，落刀要轻，利用腿和臂部力量使刮刀向前推挤，双手引导刮刀前进。在推挤后的瞬间，用双手将刮刀提起，这样就完成了一次刮削动作。



图 13-63　挺刮式刮削

（3）平面的刮削步骤　平面刮削分粗刮、细刮、精刮和刮花四个步骤。

1）粗刮。经机械加工的工件，可先用粗刮刀普遍刮一遍。在整个刮削面上采用连续推铲的方法，使刮出的刀迹连成长片。粗刮时有时会出现平面四周高、中间低的现象，故四周必须多刮几次，而且每刮一遍应转过 30°～45°

的角度交叉刮削，直至每（25×25）mm^2 内含 4～6 个研点为止。

2）细刮。细刮的目的是刮去工件表面的大块显点，进一步提高表面质量。细刮刀采用宽为 15mm 为宜。刮削时，刀迹长度不超过切削刃的宽度，每刮一遍要变换一个方向，以形成 45°～60°的网纹。整个细刮过程中随着研点的增多，刀迹应逐渐缩短，直至每（25×25）mm^2 内含 12～25 个研点为止。

3）精刮。精刮是在细刮的基础上进行的。精刮时，应充分利用精刮刀刀头较窄、圆弧较小的特点。刀迹长度一般为 5mm 左右，落刀要轻，起刀后迅速挑起，每个研点上只能刮一刀，不能重复，并始终交叉进行，当研点数增至每（25×25）mm^2 内有 20 个研点时，应按以下三个步骤刮削，直至达到规定的研点数。

① 最大最亮的研点全部刮去。

② 中等稍浅的研点只将其中较高处刮去。

③ 小而浅的研点不刮。

4）刮花。刮花的目的是增加工件刮削面的美观以及在滑动件之间造成良好的润滑条件。常见的花纹有斜纹花、月牙花（鱼鳞花）和半月花等三种。

① 斜纹花（图 13-64）。刮削斜花纹时精刮刀与工件边成

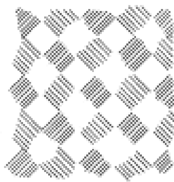


图 13-64　斜纹花

45°角方向刮削，花纹大小视刮削面大小而定。刮削时应一个方向刮定再刮削另一个方向。

② 月牙花（图 13-65）。刮削月牙花时先用刮刀的右边（或左边）与工件接触，再用左手把刮刀压平并向前进，即左手在向下压的同时，还要把刮刀有规律地扭动一下，然后起刀，这样连续地推扭刮削。

③ 半月花（图 13-66）。此法是刮刀与工件成 45°，同刮“月牙花”一样，先用刮刀的一边与工件接触再用左手把刮刀压平并向前推进。这时刮刀始终不离开工件，按一个方向连推带扭不断向前推进，连续刮出一串月牙花。然后再按相反方向刮出另一串月牙花。

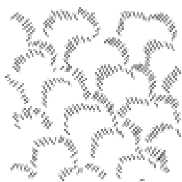


图 13-65　月牙花

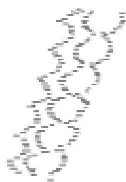


图 13-66　半月花

除上述常见的三种花纹外，其他还有波纹花、燕子花、地毯花、钻石花等。

（4）基准平板刮削方法　刮削基准平板（原始平板）采用三块对研方法（表 13-22）。

表 13-22　原始平板刮研方法

方　法	简　图
正研： 先将三块平板单独进行粗刮，去除机械加工的刀痕和锈斑等。然后将三块平板分别标号进行刮研，其过程要经三次循环 一次循环：先设 1 号为基准，与 2 号互研互刮，与 3 号互研，单刮 3 号，使 1 与 2 号、1 与 3 号相贴合	1 2　1 3　2 3 未刮　2 3 刮后
二次循环：在上一次的基础上以 2 号平板为基准，1 号与 2 号平板互研，单刮 1 号；3 号与 1 号平板互研互刮	2 1 未刮　2 1 刮后　3 1 未刮　3 1 刮后

（续）

方　法	简　图
三次循环：在第二次基础上，以 3 号为基准，2 号与 3 号平板互研，单刮 2 号；1 号与 2 号平板互研互刮（然后重复循环，直至规定要求）	3 2 未刮　3 2 刮后　2 1 未刮　2 1 刮后
对角研： 在正研过程中，三块平板还应转换方向（45°）互研，以免在平板对角部位产生扭曲现象 经互研发现有扭曲，应根据研点修刮，直至研点分布均匀和消除扭曲，使三块平板相互之间，无论是直研、调头研、对角研，研点情况完全相同为止	平面扭曲情况 对角研点检查

2. 平行面的刮削方法

刮削前，应确定被刮削的平面中，其中一个平面为基准面，首先进行粗、细、精刮削，当按规定达到每（25 × 25）mm^2 研点数的要求之后，就以此面为基准面，再刮削对应的平行面。刮削前用百分表测量该面对基准面的平行度误差（图 13-67），确定粗刮时各刮削部位的刮削量，并以标准平板为测量基准，结合显点刮削，以保证平面度要求。在保证平面度和初步达到平行度的情况下，进入细刮。细刮时除了用显点方法来确定刮削部位外，还应结合百分表进行平行度测量，这样再做刮削的修正。达到细刮要求后，进行精刮，直到每（25 × 25）mm^2 的研点数和平行度都符合要求为止。

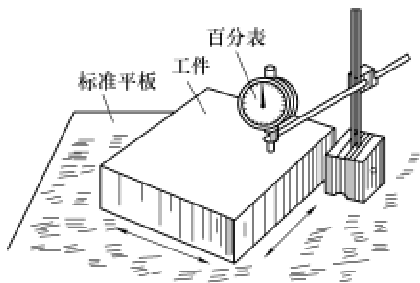


图 13-67　用百分表测量平行度

3. 垂直面的刮削方法

垂直面的刮削方法与平行面刮削相似，刮削前，先确

定一个平面为基准面，进行粗、细、精刮削后作为基准面，然后对垂直面进行测量（图13-68），以确定粗刮的刮削部位和刮削量，并结合显点刮削，以保证达到平面度要求。细刮和精刮时，除按研点进行刮削外，还要不断地进行垂直度测量，直到被刮面每（25 × 25）mm^2 的研点数和垂直度都符合要求为止。

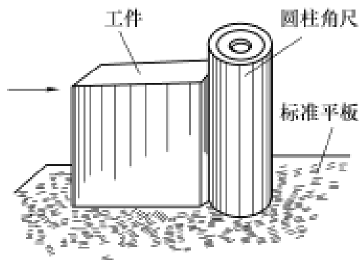


图 13-68　垂直度的测量方法

4. 曲面的刮削方法

曲面刮削一般是指内曲面刮削。其刮削的原理与平面刮削一样，但刮削方法及所用的工具不同。内曲面刮削常用三角刮刀或蛇头刮刀。刮削时，刮刀应在曲面内做后拉或前推的螺旋运动。

内圆面刮削一般以校准轴（又称工艺轴）或相配合的工作轴作为内圆面研点的校准工具。校准时将显示剂涂布在轴的圆周面上，使轴在内曲面上来回旋转显示出研点

（图 13-69），然后根据研点进行刮削。刮削时应注意以下几点：

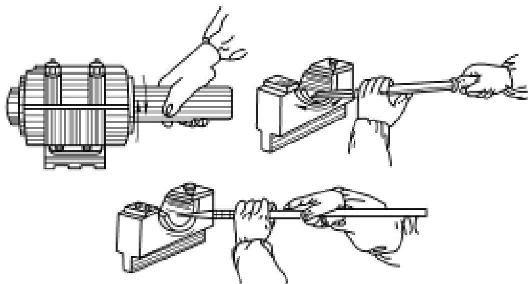


图 13-69　内曲面的显点和刮削

1）刮削时用力不可太大，否则容易发生抖动，表面产生振痕。

2）研点时配合轴应沿内曲面做来回旋转，精刮时转动弧长应小于 25mm。切忌沿轴线方向做直线研点。

3）每刮一遍之后，下一遍刮削应交叉进行，因为交叉刮削可避免刮削面产生波纹，研点也不会成条状。

4）在一般情况下，由于孔的前、后端磨损快，因此刮削内孔时，前后端的研点要多些，中间段的研点可以少些。

5）曲面刮削的切削角度和用力方向见表 13-23。

表 13-23　曲面刮刀的前角及用力方向

刮削类别	应　用　说　明	
粗刮		刮刀呈正前角，刮出的切屑较厚，故能获得较高的刮削效率
细刮		刮刀具有较小的负前角，刮出的切屑较薄，能很好地刮去研点，并能较快地把各处集中的研点改变成均匀分布的研点
精刮		刮刀具有较大的负前角，刮出的切屑极薄，不会产生凹痕，故能获得较低的表面粗糙度

13.3.7　刮削面缺陷的分析（表 13-24）

表 13-24　刮削面缺陷的分析

缺陷形式	特　　征	产 生 原 因
深凹痕	刮削面研点局部稀少或刀迹与显示研点高低相差太多	1）粗刮时用力不均、局部落刀太重或多次刀迹重叠 2）切削刃磨得过于弧形

（续）

缺陷形式	特　　征	产 生 原 因
撕痕	刮削面上有粗糙的条状刮痕，较正常刀迹深	1）切削刃不光滑和不锋利 2）切削刃有缺口或裂纹
振痕	刮削面上出现有规则的裂纹	多次同向刮削，刀迹没有交叉
划道	刮削面上划出深浅不一的直线	研点时夹有砂粒、铁屑等杂质，或显示剂不清洁
刮削面精密度不准确	显点情况无规律地改变且捉摸不定	1）推磨研点时压力不均，研具伸出工件太多，按出现的假点刮削造成 2）研具本身不准确

13.4　研磨

用研磨工具和研磨剂，通过研具与工件在一定压力下做相对滑动，从工件表面上磨掉一层极薄的金属，以提高工件尺寸精度、几何精度和减小表面粗糙度值的精整加工方法，称为研磨。

研磨精度误差可达 0.025μm，球体圆度误差可达 0.025μm，圆柱度误差可达 0.1μm，表面粗糙度可达 *Ra*0.01μm，并能使两个平面达到精密配合。

研磨主要用于加工精密的零件，如量规、精密配合件、光学零件等。

研磨的特点及作用有以下几点：

1）研磨可以获得用其他方法难以达到的高尺寸精度和形状精度。

2）磨粒在工件表面不重复先前的运动轨迹，易于切削掉加工表面的凸峰，容易获得极小的表面粗糙度值。

3）经研磨后的零件能提高加工表面的耐磨性、耐蚀性及疲劳强度，从而延长了零件的使用寿命。

4）加工方法简单，不需复杂设备，但加工效率较低。

13.4.1 研磨的分类及适用范围

研磨的分类及适用范围见表 13-25。

表 13-25 研磨的分类及适用范围

分　类	适用范围
湿研磨	又称敷砂研磨。将稀糊状或液状研磨剂涂敷或连续注入研具表面，磨粒在工件与研具之间不停地滑动或滚动，形成对工件的切削运动，加工表面呈无光泽的麻点状。一般用于粗研磨
干研磨	又称嵌砂研磨或压砂研磨。在一定的压力下，将磨料均匀地压嵌在研具的表层中，研磨时只需在研具表面涂以少量的润滑剂即可。干研磨可获得很高的加工精度和小的表面粗糙度值，但研磨效率较低。一般用于精研磨
半干研磨	采用糊状的研磨膏作研磨剂，其研磨性能介于湿研磨与干研磨之间。用于粗研磨和精研磨均可

13.4.2 研磨剂

研磨剂是由磨料和研磨液调和而成的混合剂。

（1）常用磨料及适用范围　研磨磨料按硬度可分为硬磨料和软磨料两类。常用磨料的系列与用途见表13-26。

表13-26　常用磨料的系列与用途

系列	磨料名称	代号	特　　性	适用范围
刚玉类	棕刚玉	A	棕褐色。硬度高，韧性大，价格便宜	粗、精研磨钢、铸铁、黄铜
	白刚玉	WA	白色。硬度比棕刚玉高，韧性比棕刚玉差	精研磨淬火钢、高速钢、高碳钢及薄壁零件
	铬刚玉	PA	玫瑰红或紫红色。韧性比白刚玉高，磨削表面质量好	研磨量具、仪表零件及高精度表面
	单晶刚玉	SA	淡黄色或白色。硬度和韧性比白刚玉高	研磨不锈钢、高钒高速钢等强度高、韧性大的材料

（续）

系列	磨料名称	代号	特性	适用范围
碳化物类	黑碳化硅	C	黑色有光泽。硬度比白刚玉高，性脆而锋利，导热性和导电性良好	研磨铸铁、黄铜、铝、耐火材料及非金属材料
	绿碳化硅	GC	绿色。硬度和脆性比黑碳化硅高，具有良好的导热性和导电性	研磨硬质合金、硬铬、宝石、陶瓷、玻璃等材料
	碳化硼	BC	灰黑色。硬度仅次于金刚石，耐磨性好	精研磨和抛光硬质合金、人造宝石等硬质材料
金刚石类	人造金刚石	JR	无色透明或淡黄色、黄绿色或黑色。硬度高，比天然金刚石略脆，表面粗糙	粗、精研磨硬质合金、人造宝石、半导体等高硬度脆性材料
	天然金刚石	JT	硬度最高，价格昂贵	
软磨料类	氧化铁	—	红色至暗红色，比氧化铬软	精研磨或抛光钢、铁、玻璃等材料
	氧化铬	—	深绿色	

（2）磨料粒度的选择（表13-27）

表 13-27　磨粒粒度的选择

磨料粒度	适用范围			能达到的表面粗糙度 Ra/μm
	连续施加磨粒	嵌砂研磨	涂敷研磨	
F400	✓		✓	0. 63 ~0. 32
F600	✓		✓	0. 32 ~0. 16
F1000			✓	0. 16 ~0. 08
		✓	✓	
F1200		✓	✓	0. 08 ~0. 04
F1200 以下		✓	✓	0. 04 ~0. 01

注：✓表示可选用。

（3）研磨液　研磨液主要起润滑、冷却作用，并使磨粒均布在研具表面上。常用研磨液见表 13-28。

表 13-28　常用研磨液

工件材料		研磨液
钢	粗研	煤油 3 份，L-AN10 全损耗系统用油 1 份，透平油或锭子油（少量），轻质矿物油（适量）
	精研	L-AN10 全损耗系统用油
铸铁		煤油

（续）

工 件 材 料	研 磨 液
铜	动物油（熟猪油与磨料拌成糊状后加30倍煤油），锭子油（少量），植物油（适量）
淬火钢、不锈钢	植物油、透平油或乳化液
硬质合金	航空汽油
金刚石	橄榄油、圆度仪油或蒸馏水
金、银、白金	酒精或氨水
玻璃、水晶	水

（4）研磨剂的配制　研磨剂主要有液态研磨剂和研磨膏两种。

1）液态研磨剂。湿研时用煤油、混合脂、微粉配制。常用液态研磨剂的配方见表13-29。

表13-29　常用液态研磨剂的配方

配　　方	调　　法	用　　途
金刚砂　2～3g 硬脂酸　2～2.5g 航空汽油　80～100g 煤油　数滴	先将硬脂酸和航空汽油在清洁的瓶中混合，然后放入金刚砂摇晃至乳白状而金刚砂不易沉下为止，最后滴入煤油	研磨各种硬质合金刀具

（续）

配　　方	调　　法	用　　途
白刚玉（F1000）　16g 硬脂酸　8g 蜂蜡　1g 航空汽油　80g 煤油　95g	先将硬脂酸与蜂蜡溶解，冷却后加入航空汽油搅拌，然后用双层纱布过滤，最后加入磨料和煤油	精研高速钢刀具及一般钢材

干研时压砂用研磨剂的配方见表 13-30。

表 13-30　干研时压砂用研磨剂的配方

序号	成　　分	备　　注
1	白刚玉（F1200 以下）　15g 硬脂酸混合脂　8g 航空汽油　200mL 煤油　35mL	使用时不加任何辅料
2	白刚玉（F1200 以下）　25g 硬脂酸混合脂　0.5g 航空汽油　200mL	使用时，平板表面涂以少量硬脂酸混合脂，并加数滴煤油
3	白刚玉　50g 硬脂酸混合脂　4～5g 航空汽油及煤油配成　500mL	航空汽油与煤油的比例取决于磨料的粒度： F1200 以下 汽油 9 份 煤油 1 份 F1200 汽油 7 份 煤油 3 份

（续）

序号	成　　分	备　　注
4	刚玉（F1000、F1200）适量，煤油 6～20 滴，直接放在平板上用氧化铬研磨膏调成稀糊状	

2）研磨膏。常用研磨膏有：刚玉类研磨膏，主要用于钢铁件研磨；碳化硅、碳化硼类研磨膏，主要用于硬质合金、玻璃、陶瓷和半导体等研磨；氧化铬类研磨膏，主要用于精细抛光或非金属材料的研磨；金刚石类研磨膏，主要用于硬质合金等高硬度材料的研磨。常用研磨膏见表13-31～表13-33。

表 13-31　刚玉类研磨膏的成分及用途

粒度号	成分比例（质量分数，%）				用　　途
	微粉	混合脂	油酸	其他	
F600	52	26	20	硫化油 2 或煤油少许	粗研
F800	46	28	26	煤油少许	半精研及研狭长表面
F1000	42	30	28	煤油少许	半精研
F1200	41	31	28	煤油少许	精研及研端面

（续）

粒度号	成分及比例（质量分数，%）				用　途
	微粉	混合脂	油酸	其他	
F1200 以下	40	32	28	煤油少许	精研
	40	26	26	凡士林 8	精细研
	25	35	30	凡士林 10	精细研及抛光

表 13-32　碳化硅、碳化硼类研磨膏的成分及用途

研磨膏名称	成分及比例（质量分数，%）	用　途
碳化硅	碳化硅（F240 ~ F320）83、凡士林 17	粗研
碳化硼	碳化硼（F600）65、石蜡 35	半精研
混合研磨膏	碳化硼（F600）35、白刚玉（F600 ~ F1000）与混合脂 15、油酸 35	半精研
碳化硼	碳化硼（F1200 以下）76、石蜡 12、羊油 10、松节油 2	精细研

表 13-33　人造金刚石类研磨膏

<table>
<tr><th>规格</th><th>颜色</th><th>加工表面粗糙度 Ra/μm</th><th>规格</th><th>颜色</th><th>加工表面粗糙度 Ra/μm</th></tr>
<tr><td>F800</td><td>青莲</td><td>0.16～0.32</td><td rowspan="5">F1200 以下</td><td>橘红</td><td>0.02～0.04</td></tr>
<tr><td>F1000</td><td>蓝</td><td>0.08～0.32</td><td>天蓝</td><td>0.01～0.02</td></tr>
<tr><td>F1200</td><td>玫红</td><td>0.08～0.16</td><td rowspan="2">棕</td><td rowspan="2">0.008～0.012</td></tr>
<tr><td rowspan="2">F1200 以下</td><td>橘黄</td><td>0.04～0.08</td></tr>
<tr><td>草绿</td><td>0.04～0.08</td><td>中蓝</td><td>≤0.01</td></tr>
</table>

13.4.3　研具

研具是用于涂敷或嵌入磨料并使其磨粒发挥切削作用的工具。研具材料硬度一般应比工件材料硬度低，而且硬度一致性好，组织均匀，无杂质、异物、裂纹等缺陷。其结构要合理，并具有较高的几何精度，耐磨性好，散热性好。

1. 研具材料

1）常用研具材料的性能及适用范围见表 13-34。

表 13-34　常用研具材料的性能及适用范围

材料	性能与要求	用　　途
灰铸铁	120～160HBW，金相组织以铁素体为主，可适当增加珠光体比例，用石墨球化及磷共晶等办法提高使用性能	用于湿式研磨平板

（续）

材料	性能与要求	用　　途
高磷铸铁	160～200HBW，以均匀细小的珠光体（体积分数为70%～85%）为基体，可提高平板的使用性能	用于干式研磨平板及嵌砂平板
10、20低碳钢	强度较高	用于铸铁研具强度不足时，如M5以下螺纹孔，$d<8$mm小孔及窄槽等的研磨
黄铜、纯铜	磨粒易嵌入，研磨工效高，但强度低，不能承受过大的压力，耐磨性差，加工表面粗糙度值大	用于粗研余量大的工件及青铜件和小孔的研磨
木材	要求木质紧密、细致、纹理平直、无节疤、虫伤	用于研磨铜或其他软金属
沥青	磨粒易嵌入，不能承受大的压力	用于玻璃、水晶、电子元件等的精研与镜面研磨
玻璃	脆性大，一般要求10mm厚度，并经450°退火处理	用于精研，配用氧化铬研磨膏，可获得良好的研磨效果

2）常用干研嵌砂平板的成分见表13-35。

表 13-35 常用干研嵌砂平板的成分

嵌砂粒度	干研平板的成分（质量分数，%）								金相组织及硬度
	C	Si	Mn	P	S	Sb	Ti	Cu	
F1200以下	3.2	2.14	0.74	0.2	0.1	0.045	—	—	粗片状珠光体占70%（体积分数），游离碳呈A型4～5级，硬度156HBW
	2.88	1.58	0.84	0.95	0.05	—	0.15	0.78	薄片状及细片状珠光体约占85%（体积分数），二元磷共晶网状分布，游离碳呈A型4～5型，硬度192HBW

2. 通用研具

1）平面研具的类型、特点及适用范围见表 13-36。

表 13-36 平面研具的类型、特点及适用范围

名称	简　　图	结构特点	适用范围
研磨平板		多制成正方形和长方形，常用于手工研磨，有开槽与不开槽两种。开槽的目的是用于刮去多余的研磨剂，使零件获得高的平面度。常开60°V形槽，槽宽 b 和深 h 为1～5mm，槽距 B 为15～20mm	用于研磨平面

（续）

<table>
<tr><th colspan="2">名称</th><th>简图</th><th>结构特点</th><th>适用范围</th></tr>
<tr><td rowspan="3">研磨圆盘</td><td>直角交叉形圆盘</td><td></td><td rowspan="3">研磨圆盘也有开槽和不开槽两种。研磨圆盘多开螺旋槽，方向是使研磨液能向内侧循环移动，与离心力作用相抵消。如采用研磨膏研磨时，选阿基米德螺旋线槽较好
但采用开槽圆盘研磨，工件的表面粗糙度值较大，因此，若要求工件表面粗糙度较小时，应选用不开槽圆盘研磨</td><td rowspan="3">研磨各种平面零件，主要用于小型零件</td></tr>
<tr><td>圆环射线形圆盘</td><td></td></tr>
<tr><td>偏心圆环形圆盘</td><td></td></tr>
</table>

（续）

名称		简　　图	结构特点	适用范围
研磨圆盘	螺旋射线形圆盘		研磨圆盘也有开槽和不开槽两种。研磨圆盘多开螺旋槽，方向是使研磨液能向内侧循环移动，与离心力作用相抵消。如采用研磨膏研磨时，选阿基米德螺旋线槽较好 但采用开槽圆盘研磨，工件的表面粗糙度值较大，因此，若要求工件表面粗糙度较小时，应选用不开槽圆盘研磨	研磨各种平面零件，主要用于小型零件
	径向射线形圆盘			
	阿基米德螺旋线形圆盘			

2）外圆柱面研具的类型、特点及适用范围见表13-37。

3）内圆柱面研具的类型、特点及适用范围见表13-38。

表 13-37　外圆柱面研具的类型、特点及适用范围

名　　称	简　　图	结 构 特 点	适 用 范 围
整体式研具		整体式外圆柱面研具是一个空心、整体不开口的研磨套，有均布的三个槽	用于研磨小直径的外圆柱面
带研磨套开口式研具	72° 无槽式	研磨较大直径的圆柱面时，孔内加研磨套，其内径比工件外径大 0.02 ~ 0.04mm，套的长度为加工表面长度的 1/2 ~ 1/4。研磨套内圆不开槽	用于研磨较大直径的外圆柱面

（续）

名　　称	简　　图	结 构 特 点	适 用 范 围
带研磨套开口式研具	研磨套的外表面开槽	研磨套制成开口的，便于调节尺寸。除开口外，还开两个槽，使研磨套具有一定的弹性	用于研磨普通直径的外圆柱面
	研磨套的内表面开槽	开口式研磨套，在研磨大型工件时，可在套的内表面开槽，以增加弹性	用于研磨大型外圆柱面
三点式研具		三点式研具是在整体研具架的内径上开有三个槽（角度如图所示），其中拧入调节螺栓一槽较深。在三个槽内均镶嵌有一研磨块。研磨时，把三块研磨块车成研磨直径尺寸	用于研磨高精度的外圆柱面

表 13-38　内圆柱面研具的类型、特点及适用范围

名　称	简　图	结构特点	适用范围
整体式研具	不开槽式	不开槽式整体研棒，是实心整体圆柱体，刚性好，研磨精度高	用于精研较小孔（直径<8mm）的内圆柱面
	开槽式	开槽式整体研棒，在实心圆柱体外圆表面上开直槽、螺旋槽或交叉槽。螺旋槽研棒研磨效率高，但研孔表面粗糙度和圆度较差；交叉螺旋槽和十字交叉槽研棒加工质量好，水平研磨开直槽较好，垂直研磨开螺旋槽较好	用于粗研较小孔（直径<8mm）的内圆柱面

（续）

名　　称	简　　图	结构特点	适用范围
可调式研具	1—心棒　2、7—螺母 3、6—套　4—研磨套 5—销	心棒与研磨套的配合锥度为1∶20～1∶50。锥套外径比工件小0.01～0.02mm，其结构有开槽或不开槽两种	开槽式研磨棒适用于粗研，不开槽式研磨棒适用于精研
不通孔式研具		利用螺纹，通过锥度使外径胀大。研棒工作部分的长度尺寸必须比被研磨孔的长度尺寸大20～30mm，锥度为1∶50～1∶20。研磨不通孔时，由于磨料不易均布，可在外径上开螺旋槽，或在轴向做成反锥	适用于研磨不通孔的内圆柱面

4）内圆柱面研棒的沟槽形式见表13-39。

表13-39　内圆柱面研棒的沟槽形式

沟槽形式	简　　图
单槽	M M M—M
圆周短槽	M M M—M
轴向直槽	M M M—M
螺旋槽	
交叉螺旋槽	

（续）

沟槽形式	简　　图
十字交叉槽	M—M M M

13.4.4　研磨方法

1. 常用研磨运动轨迹

1）手工研磨运动轨迹类型见表13-40。

表13-40　手工研磨运动轨迹类型

轨迹类型	简　　图	适用范围
直线往复式		常用于研磨有台阶的狭长平面，如平面样板、角尺的测量面等，能获得较高的几何精度
摆动直线式		用于研磨某些圆弧面，如样板角尺、双斜面直尺的圆弧测量面
螺旋式		用于研磨圆片或圆柱形工件的端面，能获得较小的表面粗糙度值和较好的平面度

（续）

轨迹类型	简　　图	适用范围
“8”字形或仿“8”字形		常用于研磨小平面工件，如量规的测量面等

2）机械研磨运动轨迹类型见表13-41。

表13-41　机械研磨运动轨迹类型

轨迹类型	轨迹图形	特点及适用范围
直线往复式		工件在平板上做平面平行运动，其研磨速度一致，研磨量均匀，运动较平稳，研磨行程的同一性较好。但研磨轨迹容易重复，平板磨损不一致。适用于加工底面狭长而高的工件
正弦曲线式		工件始终保持平面平行运动，主要是成形研磨。由于轨迹交错频繁，研磨表面粗糙度比直线往复式有明显降低

（续）

轨迹类型	轨迹图形	特点及适用范围
周摆线式		工件运动能走遍整个板面，结构简单，加工表面粗糙度低。但因工件前导边始终不变换，且工件各点的行程不一致性较大，不易保持研磨盘的平面度。适用于加工扁平工件及圆柱工件的端面
内摆线式		内、外摆线式轨迹适于研磨圆柱形工件端面，及底面为正方形或矩形、长宽比小于 2∶1 的扁平工件。这种轨迹的尺寸一致性好，平板磨损较均匀，故研磨质量好，效率较高。适用于大批生产
外摆线式		

2. 研具的压砂

研磨前研具可按表 13-42 所述的工序步骤进行压砂。

表 13-42　研具压砂工序

序号	工序名称	说　　明
1	涂硬脂酸	用煤油清洗擦净研具，涂抹一层硬脂酸
2	倒砂，抹匀及晾干	将浸泡好的液态研磨剂摇晃均匀，并倒在研具表面，抹匀、晾干
3	滴加液态润滑剂	滴加适量煤油，把晾干的研磨粉调匀呈黏糊状，然后将另一块研具合上，开始嵌压砂
4	嵌压砂	按“8”字形运动推研研具，并经常调转上研具的方向，一般需 3～5 遍，才能使磨粒均匀嵌入并有一定深度
5	擦净	取下上研具，用脱脂棉擦净研具表面
6	试块检查	用与被研工件材料相同的试块，在研具表面直线往复推研几下。当试块推研时切削速度很快，且表面研磨条纹细密均匀，则说明研具表面嵌砂多而均匀，即可正式使用

3. 研磨工艺参数的选择

1）研磨余量的选择见表 13-43～表 13-45。

表 13-43　平面研磨余量

（单位：mm）

平面长度	平面宽度		
	≤25	26～75	76～150
≤25	0.005～0.007	0.007～0.010	0.010～0.014
26～75	0.007～0.010	0.010～0.016	0.016～0.020
76～150	0.010～0.014	0.016～0.020	0.020～0.024
151～250	0.014～0.018	0.020～0.024	0.024～0.030

注：经过精磨的工件，手工研磨余量每面为 3～5μm，机械研磨余量每面为 5～10μm。

表 13-44　外圆研磨余量

（单位：mm）

直径	余量	直径	余量
≤10	0.005～0.008	51～80	0.008～0.012
11～18	0.006～0.008	81～120	0.010～0.014
19～30	0.007～0.010	121～180	0.012～0.016
31～50	0.008～0.010	181～260	0.015～0.020

注：经过精磨的工件，手工研磨余量为 3～8μm，机械研磨余量为 8～15μm。

表 13-45　内孔研磨余量

（单位：mm）

孔　　径	铸　　铁	钢
25～125	0.020～0.100	0.010～0.040
150～275	0.080～0.160	0.020～0.050
300～500	0.120～0.200	0.040～0.060

注：经过精磨的工件，手工研磨直径余量为5～10μm。

2）研磨速度的选择见表13-46。

表 13-46　研磨速度的选择

（单位：m/min）

研磨类型	平面		外圆	内孔	其他
	单面	双面			
湿研	20～120	20～60	50～75	50～100	10～70
干研	10～30	10～15	10～25	10～20	2～8

注：1. 工件材质软或精度要求高时，速度取小值。
2. 内孔指孔径范围6～10mm。

3）研磨压力的选择见表13-47。

表 13-47　研磨压力的选择

（单位：MPa）

研磨类型	平面	外圆	内孔①	其他
湿研	0.10～0.15	0.15～0.25	0.12～0.28	0.08～0.12
干研	0.01～0.10	0.05～0.15	0.04～0.16	0.03～0.10

①　孔径范围5～20mm。

4. 典型面研磨方法举例

（1）平面研磨方法　平面的研磨，一般分为粗研和精研。粗研用有槽的平板，精研用光滑平板。

研磨前，先用煤油或汽油把研磨平板的工作表面清洗干净并擦干，再在研磨平板上涂上适当的研磨剂，然后把工件需要研磨的表面合在研板上进行研磨。研磨时多采用“8”字形或螺旋形运动轨迹（表 13-40），但研磨狭窄平面时也常采用直线往复式运动轨迹，并用金属块作导靠（金属块平面应互相垂直），使金属块和工件紧靠在一起，并跟工件一起研磨（图 13-70a），以保持侧面和平面的垂直，防止倾斜和产生圆角。若加工工件数量较多，可采用 C 形夹将几块工件夹在一起进行研磨（图 13-70b）。

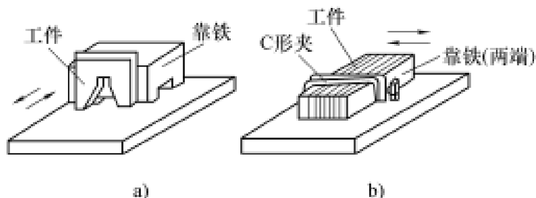


图 13-70　平面研磨时辅助工具的应用

研磨平面时，压力应适中，粗研时压力可大些，精研时压力要小些。研磨速度一般控制在每分钟往复 20～40 次的范围内。

（2）外圆柱面研磨方法　外圆柱面的研磨方法分纯手工研磨和机械配合手工研磨两种。

1）纯手工研磨方法。如图 13-71 所示，先将工件安

装在特制的工具上，并在工件外圆涂一层薄而均匀的研磨剂，然后装入已固定好的研具孔内，调整好研磨间隙，手握工具手柄，使工件既做正、反方向转动，又做轴向往复移动，保证整个研磨面得到均匀的研磨。

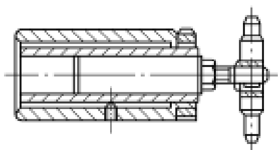


图 13-71　纯手工研磨外圆柱面

2）机械配合手工研磨方法。如图 13-72 所示，在研磨外圆柱面时，由机床夹住工件旋转，手握研具做轴向往复运动，进行研磨（图 13-72a、b）。

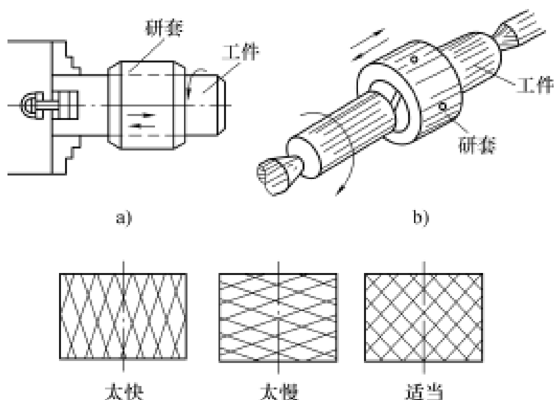


图 13-72　机械配合手工研磨外圆柱面

应根据表 13-37 选用相应的可调式研具。在工件上均匀涂上研磨剂，套上研具，调整研磨环的研磨间隙，以手能转动为宜。研磨中，应随时调整研磨间隙。由于工件存在加工误差，研磨时，手握研具可感觉到松紧不同，紧的地方可多研几下，直到间隙合理而手感松紧很均匀为止。研具应常调头研磨。

研磨时往复运动与工件旋转运动要有规律。一般工件的转速在直径 <80mm 时为 100r/min，直径 >100mm时为 50r/min。研具往复运动的速度，根据工件在研具上研磨出来的网纹来控制（图 13-72c）。当往复运动的速度适当，工件上研磨出来的网纹成 45°交叉线；太快，网纹与工件轴线夹角就较小；太慢，网纹与工件轴线夹角较大。往复运动的速度不论太快还是太慢，都影响工件的精度和耐磨性。

（3）内圆柱面（内孔）研磨方法　内圆柱面的研磨方法分纯手工研磨和机械配合手工研磨两种。

1）纯手工研磨方法（图 13-73）。先将工件固定好，将研磨剂均匀涂在研具表面，然后装入工件中，用手转动研具（或将研具装在铰杠上），同时做轴向往复运动。

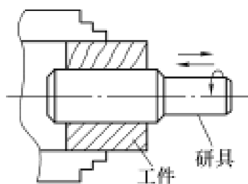


图 13-73　纯手工研磨内圆柱面

研具可采用整体式或可调式研磨棒。整体式研磨棒常采用 5 支一组的形式，其直径差见表 13-48。

表 13-48　整体式成组研磨棒的直径差

号数	尺寸规定	备　　注
1	比被研磨孔小 0.015mm	开螺旋槽
2	比 1 号研磨棒大 0.01 ~0.015mm	开螺旋槽
3	比 2 号研磨棒大 0.005 ~0.008mm	开螺旋槽
4	比 3 号研磨棒大 0.005mm	不开螺旋槽
5	比 4 号研磨棒大 0.003 ~0.005mm	不开螺旋槽

2）机械配合手工研磨方法（图 13-74）。研磨棒夹在机床卡盘上，将研磨剂均匀涂在研具表面，手握工件在研磨棒全长上做均匀往复移动，研磨速度取 0.3 ~1m/s。研磨中不断调大研磨棒直径，以达到工件要求的尺寸和精度。

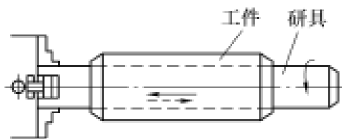


图 13-74　机械配合手工研磨内圆柱面

在调节研磨棒时与工件的配合要适当，配合太紧，易将孔面拉毛；配合太松，孔会研磨成椭圆形。研磨时如工件的端面有过多的研磨剂被挤出，应及时擦掉，否则会使孔口扩大，研磨成喇叭口形状。如孔口要求精度很高，可将研磨棒的两端用砂布磨得略小一些，以避免孔口扩大的缺陷。

（4）不通孔研磨　不通孔研具形式参见表 13-38。研磨前，要求工件孔径尽量接近最终要求，研磨余量要尽量小。研磨棒长度应长于工件 5 ~ 10mm，并使其前端有大于直径 0.01 ~ 0.03mm 的倒锥。粗研磨采用 F600 研磨剂，精研磨前洗净残留研磨剂，再用细研磨剂研磨。

（5）圆锥面研磨　工件圆锥面的研磨，包括圆锥孔和圆锥体（外圆锥面）。研具结构有整体式和可调式两种，其工作部分的长度应是工件研磨长度的 1.5 倍左右。整体式研磨棒开有螺旋槽（图 13-75）。可调式的研磨棒（套）其结构和圆柱面可调式研磨棒（套）类似。

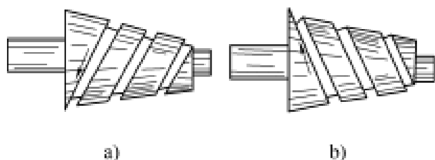


图 13-75　带有螺旋槽的圆锥面研棒

a）左向螺旋槽　b）右向螺旋槽

研磨一般在车床或钻床上进行，研磨棒的转动方向应与螺旋槽方向一致。研磨时，研磨棒（套）上应均匀地涂上一层研磨剂，插入工件锥孔（或锥体）中（图 13-76）进行研磨。研磨时需要多次擦净，重

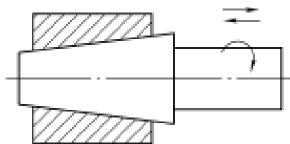


图 13-76　研磨圆锥面

新涂上研磨剂，在做转动的同时，要不断地稍微拔出和推入，反复进行研磨，研磨到接近要求的精度时，拔出研具，擦掉研具和工件表面的研磨剂，重新套上进行抛光。

13.4.5　研磨的质量分析

（1）平板压砂常见问题及产生原因（表 13-49）

表 13-49　平板压砂常见问题及产生原因

常见问题	产生原因
有不均匀的打滑现象，并伴有“吱吱”声响，平板表面发亮	主要是压砂不进，硬脂酸过多，平板材料有硬层
压砂不均匀	硬脂酸过多，平板不吻合，煤油过少，磨料分布不均匀
平板中部磨料密集	对研平板有凹心，煤油过多
平板表面有划痕	研磨剂中混有粗粒，或磨料未嵌入，硬脂酸分布不均
平板表面出现黄色或茶褐色斑块烧伤	润滑剂少，对研速度过快或压力过高，研磨时间过长
研时噪声很大	磨粒呈脆性
平板表面光亮度不一致	磨粒分布不均匀，或所施加的压力不均匀

（2）研磨时常见缺陷及产生原因（表 13-50）

表 13-50　研磨时常见缺陷及产生原因

缺　　陷	产 生 原 因
表面粗糙度值大	1）磨料太粗 2）研磨剂选用不当 3）研磨剂涂得薄而不匀 4）研磨时忽视清洁工作，研磨剂中混入杂质
平面成凸形	1）研磨时压力过大 2）研磨剂涂得太厚，工作边缘挤出的研磨剂未及时擦去仍继续研磨 3）运动轨迹没有错开 4）研磨平板选用不当
孔口扩大	1）研磨剂涂抹不均匀 2）研磨时孔口挤出的研磨剂未及时擦去 3）研磨棒伸出太长 4）研磨棒与工件孔之间的间隙太大，研磨时研具相对于工件孔的径向摆动太大 5）工件内孔本身或研磨棒有锥度
孔呈椭圆形或圆柱有锥度	1）研磨时没有更换方向或及时调头 2）工件材料硬度不匀或研磨前加工质量差 3）研磨棒本身的制造精度低

附　　录

附录 A　常用螺纹基本参数及计算

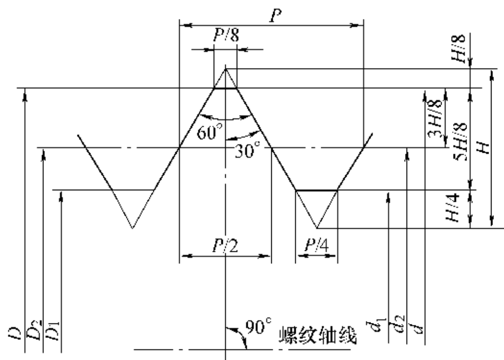
A.1　普通螺纹

A.1.1　普通螺纹基本牙型及尺寸计算

普通螺纹基本牙型的原始三角形为60°的等边三角形，其高度为 H，基本牙型上大径和小径处的削平高度分别为 $H/8$ 和 $H/4$。普通螺纹基本牙型及尺寸计算见表 A-1。

表 A-1　普通螺纹基本牙型及尺寸计算

（GB/T 192—2003）



（续）

$$H=\frac{\sqrt{3}}{2}P=0.866025404P \quad \frac{5}{8}H=0.541265877P$$

$$\frac{3}{8}H=0.324759526P \quad \frac{1}{4}H=0.216506351P$$

$$\frac{1}{8}H=0.108253175P$$

D—内螺纹大径　d—外螺纹大径　D_2—内螺纹中径　d_2—外螺纹中径　D_1—内螺纹小径　d_1—外螺纹小径　P—螺距　H—原始三角形高度

A. 1. 2　普通螺纹直径与螺距系列（表 A-2）

表 A-2　普通螺纹直径与螺距系列（GB/T 193—2003）

（单位：mm）

公称直径 D、d				螺距 P
第一系列	第二系列	第三系列	粗牙	细牙
1			0.25	0.2
	1.1		0.25	
1.2			0.25	
	1.4		0.3	
1.6			0.35	
	1.8		0.35	
2			0.4	0.25
	2.2		0.45	

（续）

公称直径 D、d			螺　距　P	
第一系列	第二系列	第三系列	粗　牙	细　　牙
2.5 3	 3.5		0.45 0.5 0.6	0.35
4 5	 4.5	 5.5	0.7 0.75 0.8	0.5
6 8 10	7	 9 11	1 1 1.25 1.25 1.5 1.5	0.75 0.75 1、0.75 1、0.75 1.25、1、0.75 1、0.75
12 16	 14	 15 17	1.75 2 2	1.5、1.25、1 1.5、1.25[①]、1 1.5、1 1.5、1 1.5、（1）
 20	18 22		2.5 2.5 2.5	2、1.5、1

（续）

公称直径 D、d			螺距 P	
第一系列	第二系列	第三系列	粗 牙	细 牙
24			3	2、1.5、1
		25		2、1.5、1
		26		1.5
	27		3	2、1.5、1
		28		2、1.5、1
30			3.5	(3)、2、1.5、1
		32		2、1.5
	33		3.5	(3)、2、1.5
		35②		1.5
36			4	3、2、1.5
		38		1.5
	39		4	3、2、1.5
		40		3、2、1.5
42			4.5	
	45		4.5	4、3、2、1.5
48			5	

（续）

公称直径 D、d				螺　距　P
第一系列	第二系列	第三系列	粗　牙	细　　牙
		50		3、2、1.5
	52		5	4、3、2、1.5
		55		4、3、2、1.5
56			5.5	4、3、2、1.5
		58		4、3、2、1.5
	60		5.5	4、3、2、1.5
		62		4、3、2、1.5
			6	4、3、2、1.5
64		65		4、3、2、1.5
	68		6	4、3、2、1.5
		70		6、4、3、2、1.5
72				6、4、3、2、1.5
		75		4、3、2、1.5
	76			6、4、3、2、1.5
		78		2
80				6、4、3、2、1.5
		82		2
	85			
90				
	95			6、4、3、2
100				

注：1. 直径优先选用第一系列，第三系列尽可能不用。

2. 括号内的螺距尽可能不用。

① M14×1.25 仅用于火花塞。

② M35×1.5 仅用于滚动轴承锁紧螺母。

A. 1. 3　普通螺纹基本尺寸（表 A-3）

表 A-3　普通螺纹基本尺寸（GB/T 196—2003）

（单位：mm）

公称直径 D、d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列			
1			0. 25	0. 838	0. 729
			0. 2	0. 870	0. 783
	1. 1		0. 25	0. 938	0. 829
			0. 2	0. 970	0. 883
1. 2			0. 25	1. 038	0. 929
			0. 2	1. 070	0. 983
	1. 4		0. 3	1. 205	1. 075
			0. 2	1. 270	1. 183
1. 6			0. 35	1. 373	1. 221
			0. 2	1. 470	1. 383
	1. 8		0. 35	1. 573	1. 421
			0. 2	1. 670	1. 583
2			0. 4	1. 740	1. 567
			0. 25	1. 838	1. 729

（续）

公称直径 D、d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列			
	2. 2		0. 45	1. 908	1. 713
			0. 25	2. 038	1. 929
2. 5			0. 45	2. 208	2. 013
			0. 35	2. 273	2. 121
3			0. 5	2. 675	2. 459
			0. 35	2. 773	2. 621
	3. 5		0. 6	3. 110	2. 850
			0. 35	3. 273	3. 121
4			0. 7	3. 545	3. 242
			0. 5	3. 675	3. 459
	4. 5		0. 75	4. 013	3. 688
			0. 5	4. 175	3. 959
5			0. 8	4. 480	4. 134
			0. 5	4. 675	4. 459
		5. 5	0. 5	5. 175	4. 959
6			1	5. 350	4. 917

（续）

公称直径 D、d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列			
6			0. 75	5. 513	5. 188
	7		1	6. 350	5. 917
			0. 75	6. 513	6. 188
8			1. 25	7. 188	6. 647
			1	7. 350	6. 917
			0. 75	7. 513	7. 188
		9	1. 25	8. 188	7. 647
			1	8. 350	7. 917
			0. 75	8. 513	8. 188
10			1. 5	9. 026	8. 376
			1. 25	9. 188	8. 647
			1	9. 350	8. 917
			0. 75	9. 513	9. 188
		11	1. 5	10. 026	9. 376
			1	10. 350	9. 917
			0. 75	10. 513	10. 188

（续）

公称直径 D、d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列			
12			1.75	10.863	10.106
			1.5	11.026	10.376
			1.25	11.188	10.647
			1	11.350	10.917
	14		2	12.701	11.835
			1.5	13.026	12.376
			1.25	13.188	12.647
			1	13.350	12.917
		15	1.5	14.026	13.376
			1	14.350	13.917
16			2	14.701	13.835
			1.5	15.026	14.376
			1	15.350	14.917
		17	1.5	16.026	15.376
			1	16.350	15.917
	18		2.5	16.376	15.294

（续）

公称直径 D、d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列			
	18		2	16.701	15.835
			1.5	17.026	16.376
			1	17.350	16.917
20			2.5	18.376	17.294
			2	18.701	17.835
			1.5	19.026	18.376
			1	19.350	18.917
	22		2.5	20.376	19.294
			2	20.701	19.835
			1.5	21.026	20.376
			1	21.350	20.917
24			3	22.051	20.752
			2	22.701	21.835
			1.5	23.026	22.376
			1	23.350	22.917
		25	2	23.701	22.835

（续）

公称直径 D、d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列			
		25	1.5	24.026	23.376
			1	24.350	23.917
		26	1.5	25.026	24.376
	27		3	25.051	23.752
			2	25.701	24.835
			1.5	26.026	25.376
			1	26.350	25.917
		28	2	26.701	25.835
			1.5	27.026	26.376
			1	27.350	26.917
30			3.5	27.727	26.211
			3	28.051	26.752
			2	28.701	27.835
			1.5	29.026	28.376
			1	29.350	28.917
		32	2	30.701	29.835

（续）

公称直径 D、d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列			
		32	1.5	31.026	30.376
	33		3.5	30.727	29.211
			3	31.051	29.752
			2	31.701	30.835
			1.5	32.026	31.376
		35	1.5	34.026	33.376
36			4	33.402	31.670
			3	34.051	32.752
			2	34.701	33.835
			1.5	35.026	34.376
		38	1.5	37.026	36.376
	39		4	36.402	34.670
			3	37.051	35.752
			2	37.701	36.835
			1.5	38.026	37.376
		40	3	38.051	36.752

（续）

公称直径 D、d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列			
		40	2	38.701	37.835
			1.5	39.026	38.376
42			4.5	39.077	37.129
			4	39.402	37.670
			3	40.051	38.752
			2	40.701	39.835
			1.5	41.026	40.376
	45		4.5	42.077	40.129
			4	42.402	40.670
			3	43.051	41.752
			2	43.701	42.835
			1.5	44.026	43.376
48			5	44.752	42.587
			4	45.402	43.670
			3	46.051	44.752
			2	46.701	45.835
			1.5	47.026	46.376

A. 1. 4　普通螺纹的优选系列（表 A-4）

表 A-4　普通螺纹的优选系列（GB/T 9144—2003）

（单位：mm）

公称直径 D、d		螺　距　P	
第一系列	第二系列	粗　　牙	细　　牙
1		0. 25	
1. 2		0. 25	
	1. 4	0. 3	
1. 6		0. 35	
	1. 8	0. 35	
2		0. 4	
2. 5		0. 45	
3		0. 5	
	3. 5	0. 6	
4		0. 7	
5		0. 8	
6		1	
	7	1	
8		1. 25	1
10		1. 5	1. 25,1
12		1. 75	1. 5,1. 25
	14	2	1. 5
16		2	1. 5

（续）

公称直径 D、d		螺　距　P	
第一系列	第二系列	粗　　牙	细　　牙
	18	2.5	2,1.5
20		2.5	2,1.5
	22	2.5	2,1.5
24		3	2
	27	3	2
30		3.5	2
	33	3.4	2
36		4	3
	39	4	3
42		4.5	3
	45	4.5	3
48		5	3
	52	5	4
56		5.5	4
	60	5.5	4
64		6	4

A. 1. 5　普通螺纹的管路系列（表 A-5）

表 A-5　普通螺纹的管路系列（GB/T 1414—2003）

（单位：mm）

公称直径 D、d		螺　距　P
第一系列	第二系列	
8		1. 25，1
10		1. 25，1
12		1
	14	2，1. 5
16		1. 5，1
	18	2，1. 5
20		1. 5
	22	1. 5
24		2
	27	2
30		2，1. 5
	33	2
36		1. 5
	39	3
42		3，2
48		3，2
	52	1. 5
	60	3，2
64		1. 5
72		3
	76	3
80		1. 5
	85	2
90		4

（续）

公称直径 *D*、*d*		螺　距　*P*
第一系列	第二系列	
100		3
	115	4
125		2
140		3
	150	2
160		2
	170	4

A. 1. 6　普通螺纹公差与配合（GB/T 197—2003）

1）普通螺纹公差带。普通螺纹公差带由公差带的位置和公差带的大小组成，如图 A-1 所示。公差带的位置是指公差带的起始点到基本牙型的距离，并称为基本偏差。国际规定外螺纹的上极限偏差（es）和内螺纹的下极限偏差（EI）为基本偏差。

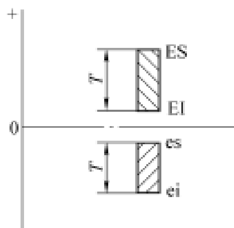


图 A-1　螺纹公差带及基本偏差

T—公差　ES—内螺纹上极限偏差　EI—内螺纹下极限偏差

es—外螺纹上极限偏差　ei—外螺纹下极限偏差

对内螺纹规定了 G 和 H 两种位置（图 A-2），对外螺纹规定了 e、f、g 和 h 四种位置（图 A-3）。H、h 的基本偏差为零，G 的基本偏差为正值，e、f、g 的基本偏差为负值。

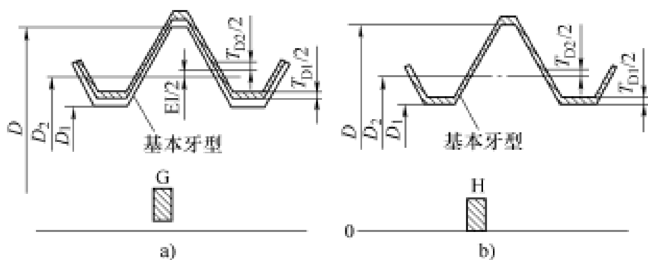


图 A-2　内螺纹公差带位置

T_{D1}—内螺纹小径公差　T_{D2}—内螺纹中径公差

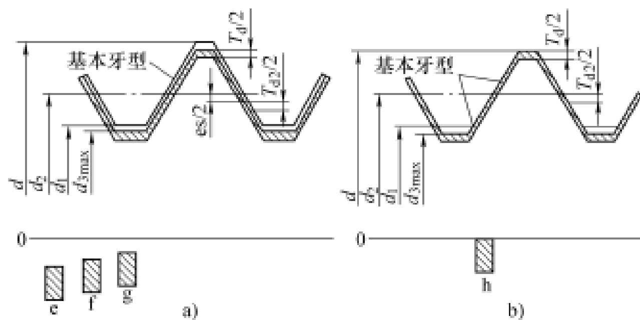


图 A-3　外螺纹公差带位置

T_d—外螺纹大径公差　T_{d2}—外螺纹中径公差

2）普通内、外螺纹基本偏差见表 A-6。

表 A-6　普通内、外螺纹基本偏差

（单位：μm）

螺距 P/mm	基本偏差					
	内螺纹 D_2、D_1		外螺纹 d、d_2			
	G EI	H EI	e es	f es	g es	h es
0.2	+17	0	—	—	-17	0
0.25	+18	0	—	—	-18	0
0.3	+18	0	—	—	-18	0
0.35	+19	0	—	-34	-19	0
0.4	+19	0	—	-34	-19	0
0.45	+20	0	—	-35	-20	0
0.5	+20	0	-50	-36	-20	0
0.6	+21	0	-53	-36	-21	0
0.7	+22	0	-56	-38	-22	0
0.75	+22	0	-50	-38	-22	0
0.8	+24	0	-60	-38	-24	0
1	+26	0	-60	-40	-26	0
1.25	+28	0	-63	-42	-28	0
1.5	+32	0	-67	-45	-32	0
1.75	+34	0	-71	-48	-34	0
2	+38	0	-71	-52	-38	0
2.5	+42	0	-80	-58	-42	0
3	+48	0	-85	-63	-48	0

（续）

螺距 P/mm	基本偏差					
	内螺纹 D_2、D_1		外螺纹 d、d_2			
	G EI	H EI	e es	f es	g es	h es
3.5	+53	0	−90	−70	−53	0
4	+60	0	−95	−75	−60	0
4.5	+63	0	−100	−80	−63	0
5	+71	0	−106	−85	−71	0
5.5	+75	0	−112	−90	−75	0
6	+80	0	−118	−95	−80	0

3）普通内、外螺纹各直径公差等级见表 A-7。

表 A-7　普通内、外螺纹各直径公差等级

螺纹直径		公差等级
内螺纹	小径 D_1	4、5、6、7、8
	中径 D_2	4、5、6、7、8
外螺纹	大径 d	4、6、8
	中径 d_2	3、4、5、6、7、8、9

4）普通螺纹旋合长度分短旋合长度 S、中等旋合长度 N 和长旋合长度 L 三组，其数值规定见表 A-8。

表 A-8　普通螺纹旋合长度

（单位：mm）

公称直径 D、d		螺距 P	旋合长度			
			S	N		L
>	≤		≤	>	≤	>
0.99	1.4	0.2 0.25 0.3	0.5 0.6 0.7	0.5 0.6 0.7	1.4 1.7 2	1.4 1.7 2
1.4	2.8	0.2 0.25 0.35 0.4 0.45	0.5 0.6 0.8 1 1.3	0.5 0.6 0.8 1 1.3	1.5 1.9 2.6 3 3.8	1.5 1.9 2.6 3 3.8
2.8	5.6	0.35 0.5 0.6 0.7 0.75 0.8	1 1.5 1.7 2 2.2 2.5	1 1.5 1.7 2 2.2 2.5	3 4.5 5 6 6.7 7.5	3 4.5 5 6 6.7 7.5
5.6	11.2	0.5 0.75 1 1.25 1.5	1.6 2.4 3 4 5	1.6 2.4 3 4 5	4.7 7.1 9 12 15	4.7 7.1 9 12 15

（续）

公称直径 D、d		螺距 P	旋合长度			
			S	N		L
>	≤		≤	>	≤	>
11.2	22.4	0.5	1.8	1.8	5.4	5.4
		0.75	2.7	2.7	8.1	8.1
		1	3.8	3.8	11	11
		1.25	4.5	4.5	13	13
		1.5	5.6	5.6	16	16
		1.75	6	6	18	18
		2	8	8	24	24
		2.5	10	10	30	30
22.4	45	0.75	3.1	3.1	9.4	9.4
		1	4.8	4	12	12
		1.5	6.3	6.3	19	19
		2	8.5	8.5	25	25
		3	12	12	36	36
		3.5	15	15	45	45
		4	18	18	53	53
		4.5	21	21	63	63
45	90	1	4	4.8	14	14
		1.5	7.5	7.5	22	22
		2	9.5	9.5	28	28
		3	15	5	45	45
		4	19	19	56	56
		5	24	24	71	71
		5.5	28	28	85	85
		6	32	32	95	95

5）普通螺纹公差带的选用见表 A-9。

表 A-9　普通螺纹公差带的选用

（1）内螺纹选用公差带

精　度	公差带位置 G			公差带位置 H		
	S	N	L	S	N	L
精　密				4H	5H	6H
中　等	（5G）	**6G**	（7G）	**5H**	**6H**	**7H**
粗　糙	—	（7G）	（8G）	—	7H	8H

（2）外螺纹选用公差带

精　度	公差带位置 e			公差带位置 f			公差带位置 g			公差带位置 h		
	S	N	L	S	N	L	S	N	L	S	N	L
精　密	—	—	—	—	—	—	—	（4g）	（5g4g）	（3h4h）	**4h**	（5h4h）
中　等	—	**6e**	（7e6e）	—	**6f**	—	（5g6g）	**6g**	（7g6g）	（5h6h）	6h	（7h6h）
粗　糙	—	（8e）	（7e8e）	—	—	—	—	8g	（9g8g）	—	—	—

注：1. 大量生产的紧固件螺纹，推荐采用带方框的粗体字公差带。

2. 优先选用顺序为粗体字公差带、一般字体公差带、括弧内公差带（尽可能不用）。

6）普通螺纹的极限偏差。内、外螺纹各个公差带的基本偏差和公差的计算公式为：

内螺纹中径的下偏差（基本偏差）为 EI；

内螺纹中径的上偏差为 $ES = EI + T_{D2}$；

内螺纹小径的下偏差为 EI；

内螺纹小径的上偏差为 $ES = EI + T_{D1}$；

外螺纹中径的上偏差（基本偏差）为 es；

外螺纹中径的下偏差为 $ei = es - T_{d2}$；

外螺纹大径的上偏差为 es；

外螺纹大径的下偏差为 $ei = es - T_{d}$。

为了简化螺纹极限尺寸的计算，可查表 A-10。

A.1.7　普通螺纹标记方法及示例

1. 普通螺纹标记方法

完整的螺纹标记由特征代号、尺寸代号、公差带代号及其他信息组成。普通螺纹的特征代号用字母“M”表示。单线螺纹的尺寸代号为“公称直径 × 螺距”，公称直径和螺距数值的单位为 mm。对粗牙普通螺纹，可以省略标注其螺距项；多线螺纹的尺寸代号为“公称直径 × Ph 导程 P 螺距”，公称直径、导程和螺距数值的单位为 mm。可在后面增加括号说明线数（英文）。

公差带代号包含中径和顶径公差带代号，中径公差带代号在前，顶径公差带代号在后，内螺纹用大写字母，外螺纹用小写字母。如果中径公差带代号与顶径公差带代号相同，则只标注一个公差带代号。螺纹尺寸代号与公差带间用“－”号分开。

表 A-10　普通螺纹公差带的极限偏差（GB/T 2516—2003）（单位：μm）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
5.6	11.2	1	—	—	—	—	—	3h4h	0	-56	0	-112
			4H	+95	0	+150	0	4h	0	-71	0	-112
			5G	+144	+26	+216	+26	5g6g	-26	-116	-26	-206
			5H	+118	0	+190	0	5h4h	0	-90	0	-112
			—	—	—	—	—	5h6h	0	-90	0	-180
			—	—	—	—	—	6e	-60	-172	-60	-240
			—	—	—	—	—	6f	-40	-152	-40	-220
			6G	+176	+26	+262	+26	6g	-26	-138	-26	-206
			6H	+150	0	+236	0	6h	0	-112	0	-180
			—	—	—	—	—	7e6e	-60	-200	-60	-240
			7G	+216	+26	+326	+26	7g6g	-26	-166	-26	-206
			7H	+190	9	+300	0	7h6h	0	-140	0	-180
			8G	+262	+26	+401	+26	8g	-26	-206	-26	-306
			8H	+236	0	+375	0	9g8g	-26	-250	-26	-306

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
5.6	11.2	1.25	—	—	—	—	—	3h4h	0	−60	0	−132
			4H	+100	0	+170	0	4h	0	−75	0	−132
			5G	+153	+28	+240	+28	5g6g	−28	−123	−28	−240
			5H	+125	0	+212	0	5h4h	0	−95	0	−132
			—	—	—	—	—	5h6h	0	−95	0	−212
			—	—	—	—	—	6e	−63	−181	−63	−275
			—	—	—	—	—	6f	−42	−160	−42	−254
			6G	+188	+28	+293	+28	6g	−28	−146	−28	−240
			6H	+160	0	+265	0	6h	0	−118	0	−212
			—	—	—	—	—	7e6e	−63	−213	−63	−275
			7G	+228	+28	+363	+28	7g6g	−28	−175	−28	−240
			7H	+200	0	+335	0	7h6h	0	−150	0	−212
			8G	+278	+28	+453	+28	8g	−28	−218	−28	−363
			8H	+250	0	+425	0	9g8g	−28	−264	−28	−363

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
5.6	11.2	1.5	—	—	—	—	—	3h4h	0	−67	0	−150
			4H	+112	0	+190	0	4h	0	−85	0	−150
			5G	+172	+32	+268	+32	5g6g	−32	−138	−32	−268
			5H	+140	0	+236	0	5h4h	0	−106	0	−150
			—	—	—	—	—	5h6h	0	−106	0	−236
			—	—	—	—	—	6e	−67	−199	−67	−303
			—	—	—	—	—	6f	−45	−177	−45	−281
			6G	+212	+32	+332	+32	6g	−32	−164	−32	−268
			6H	+180	0	+300	0	6h	0	−132	0	−236
			—	—	—	—	—	7e6e	−67	−237	−67	−303
			7G	+256	+32	+407	+32	7g6g	−32	−202	−32	−268
			7H	+224	0	+375	0	7h6h	0	−170	0	−236
			8G	+312	+32	+507	+32	8g	−32	−244	−32	−407
			8H	+280	0	+475	0	9g8g	−32	−297	−32	−407

（续）

基本大径 /mm		螺距 /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	1	—	—	—	—	—	3h4h	0	-60	0	-112
			4H	+100	0	+150	0	4h	0	-75	0	-112
			5G	+151	+26	+216	+26	5g6g	-26	-121	-26	-206
			5H	+125	0	+190	0	5h4h	0	-95	0	-112
			—	—	—	—	—	5h6h	0	-95	0	-180
			—	—	—	—	—	6e	-60	-178	-60	-240
			—	—	—	—	—	6f	-40	-158	-40	-220
			6G	+186	+26	+262	+26	6g	-26	-144	-26	-206
			6H	+160	0	+236	0	6h	0	-118	0	-180
			—	—	—	—	—	7e6e	-60	-210	-60	-240
			7G	+226	+26	+326	+26	7g6g	-26	-176	-26	-206
			7H	+200	0	+300	0	7h6h	0	-150	0	-180
			8G	+276	+26	+401	+26	8g	-26	-216	-26	-306
			8H	+250	0	+375	0	9g8g	-26	-262	-26	-306

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	1.25	—	—	—	—	—	3h4h	0	-67	0	-132
			4H	+112	0	+170	0	4h	0	-85	0	-132
			5G	+168	+28	+240	+28	5g6g	-28	-134	-28	-240
			5H	+140	0	+212	0	5h4h	0	-106	0	-132
			—	—	—	—	—	5h6h	0	-106	0	-212
			—	—	—	—	—	6e	-63	-195	-63	-275
			—	—	—	—	—	6f	-42	-174	-42	-254
			6G	+208	+28	+293	+28	6g	-28	-160	-28	-240
			6H	+180	0	+265	0	6h	0	-132	0	-212
			—	—	—	—	—	7e6e	-63	-233	-63	-275
			7G	+252	+28	+363	+28	7g6g	-28	-198	-28	-240
			7H	+224	0	+335	0	7h6h	0	-170	0	-212
			8G	+308	+28	+453	+28	8g	-28	-240	-28	-363
			8H	+280	0	+425	0	9g8g	-28	-293	-28	-363

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	1.5	—	—	—	—	—	3h4h	0	−71	0	−150
			4H	+118	0	+190	0	4h	0	−90	0	−150
			5G	+182	+32	+268	+32	5g6g	−32	−144	−32	−268
			5H	+150	0	+236	0	5h4h	0	−112	0	−150
			—	—	—	—	—	5h6h	0	−112	0	−236
			—	—	—	—	—	6e	−67	−207	−67	−303
			—	—	—	—	—	6f	−45	−185	−45	−281
			6G	+222	+32	+332	+32	6g	−32	−172	−32	−268
			6H	+190	0	+300	0	6h	0	−140	0	−236
			—	—	—	—	—	7e6e	−67	−247	−67	−303
			7G	+268	+32	+407	+32	7g6g	−32	−212	−32	−268
			7H	+236	0	+375	0	7h6h	0	−180	0	−236
			8G	+332	+32	+507	+32	8g	−32	−256	−32	−407
			8H	+300	0	+475	0	9g8g	−32	−312	−32	−407

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	1.75	—	—	—	—	—	3h4h	0	−75	0	−170
			4H	+125	0	+212	0	4h	0	−95	0	−170
			5G	+194	+34	+299	+34	5g6g	−34	−152	−34	−299
			5H	+160	0	+265	0	5h4h	0	−118	0	−170
			—	—	—	—	—	5h6h	0	−118	0	−265
			—	—	—	—	—	6e	−71	−221	−71	−336
			—	—	—	—	—	6f	−48	−198	−48	−313
			6G	+234	+34	+369	+34	6g	−34	−184	−34	−299
			6H	+200	0	+335	0	6h	0	−150	0	−265
			—	—	—	—	—	7e6e	−71	−261	−71	−336
			7G	+284	+34	+459	+34	7g6g	−34	−224	−34	−299
			7H	+250	0	+425	0	7h6h	0	−190	0	−265
			8G	+349	+34	+564	+34	8g	−34	−270	−34	−459
			8H	+315	0	+530	0	9g8g	−34	−334	−34	−459

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	2	—	—	—	—	—	3h4h	0	-80	0	-180
			4H	+132	0	+236	0	4h	0	-100	0	-180
			5G	+208	+38	+338	+38	5g6g	-38	-163	-38	-318
			5H	+170	0	+300	0	5h4h	0	-125	0	-180
			—	—	—	—	—	5h6h	0	-125	0	-280
			—	—	—	—	—	6e	-71	-231	-71	-351
			—	—	—	—	—	6f	-52	-212	-52	-332
			6G	+250	+38	+413	+38	6g	-38	-198	-38	-318
			6H	+212	0	+375	0	6h	0	-160	0	-280
			—	—	—	—	—	7e6e	-71	-271	-71	-351
			7G	+303	+38	+513	+38	7g6g	-38	-238	-38	-318
			7H	+265	0	+475	0	7h6h	0	-200	0	-280
			8G	+373	+38	+638	+38	8g	-38	-288	-38	-488
			8H	+335	0	+600	0	9g8g	-38	-353	-38	-448

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内　螺　纹					外　螺　纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	2.5	—	—	—	—	—	3h4h	0	−85	0	−212
			4H	+140	0	+280	0	4h	0	−106	0	−212
			5G	+222	+42	+397	+42	5g6g	−42	−174	−42	−377
			5H	+180	0	+355	0	5h4h	0	−132	0	−212
			—	—	—	—	—	5h6h	0	−132	0	−335
			—	—	—	—	—	6e	−80	−250	−80	−415
			—	—	—	—	—	6f	−58	−228	−58	−393
			6G	+266	+42	+492	+42	6g	−42	−212	−42	−377
			6H	+224	0	+450	0	6h	0	−170	0	−335
			—	—	—	—	—	7e6e	−80	−292	−80	−415
			7G	+322	+42	+602	+42	7g6g	−42	−254	−42	−377
			7H	+280	0	+560	0	7h6h	0	−212	0	−335
			8G	+397	+42	+752	+42	8g	−42	−307	−42	−572
			8H	+355	0	+710	0	9g8g	−42	−377	−42	−572

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	1	—	—	—	—	—	3h4h	0	−63	0	−112
			4H	+106	0	+150	0	4h	0	−80	0	−112
			5G	+158	+26	+218	+26	5g6g	−26	−126	−26	−206
			5H	+132	0	+190	0	5h4h	0	−100	0	−112
			—	—	—	—	—	5h6h	0	−100	0	−180
			—	—	—	—	—	6e	−60	−185	−60	−240
			—	—	—	—	—	6f	−40	−165	−40	−220
			6G	+196	+26	+262	+26	6g	−26	−151	−26	−206
			6H	+170	0	+236	0	6h	0	−125	0	−180
			—	—	—	—	—	7e6e	−60	−220	−60	−240
			7G	+238	+26	+326	+26	7g6g	−26	−186	−26	−206
			7H	+212	0	+300	0	7h6h	0	−160	0	−180
			8G	—	—	—	—	8g	−26	−226	−26	−306
			8H	—	—	—	—	9g8g	−26	−276	−26	−306

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	1.5	—	—	—	—	—	3h4h	0	-75	0	-150
			4H	+125	0	+190	0	4h	0	-95	0	-150
			5G	+192	+32	+268	+32	5g6g	-32	-150	-32	-268
			5H	+160	0	+236	0	5h4h	0	-118	0	-150
			—	—	—	—	—	5h6h	0	-118	0	-236
			—	—	—	—	—	6e	-67	-217	-67	-303
			—	—	—	—	—	6f	-45	-195	-45	-281
			6G	+232	+32	+332	+32	6g	-32	-182	-32	-268
			6H	+200	0	+300	0	6h	0	-150	0	-236
			—	—	—	—	—	7e6e	-67	-257	-67	-303
			7G	+282	+32	+407	+32	7g6g	-32	-222	-32	-268
			7H	+250	0	+375	0	7h6h	0	-190	0	-236
			8G	+347	+32	+507	+32	8g	-32	-268	-32	-407
			8H	+315	0	+475	0	9g8g	-32	-332	-32	-407

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	2	—	—	—	—	—	3h4h	0	−85	0	−180
			4H	+140	0	+236	0	4h	0	−106	0	−180
			5G	+218	+38	+338	+38	5g6g	−38	−170	−38	−318
			5H	+180	0	+300	0	5h4h	0	−132	0	−180
			—	—	—	—	—	5h6h	0	−132	0	−280
			—	—	—	—	—	6e	−71	−241	−71	−351
			—	—	—	—	—	6f	−52	−222	−52	−332
			6G	+262	+38	+413	+38	6g	−38	−208	−38	−318
			6H	+224	0	+375	0	6h	0	−170	0	−280
			—	—	—	—	—	7e6e	−71	−283	−71	−351
			7G	+318	+38	+513	+38	7g6g	−38	−250	−38	−318
			7H	+280	0	+475	0	7h6h	0	−212	0	−280
			8G	+393	+38	+638	+38	8g	−38	−307	−38	−488
			8H	+355	0	+600	0	9g8g	−38	−373	−38	−488

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	3	—	—	—	—	—	3h4h	0	-100	0	-236
			4H	+170	0	+315	0	4h	0	-125	0	-236
			5G	+260	+48	+448	+48	5g6g	-48	-208	-48	-423
			5H	+212	0	+400	0	5h4h	0	-160	0	-236
			—	—	—	—	—	5h6h	0	-160	0	-375
			—	—	—	—	—	6e	-85	-285	-85	-460
			—	—	—	—	—	6f	-63	-263	-63	-438
			6G	+313	+48	+548	+48	6g	-48	-248	-48	-423
			6H	+265	0	+500	0	6h	0	-200	0	-375
			—	—	—	—	—	7e6e	-85	-335	-85	-460
			7G	+383	+48	+678	+48	7g6g	-48	-298	-48	-423
			7H	+335	0	+630	0	7h6h	0	-250	0	-375
			8G	+473	+48	+848	+48	8g	-48	-363	-48	-648
			8H	+425	0	+800	0	9g8g	-48	-448	-48	-648

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	3.5	—	—	—	—	—	3h4h	0	-106	0	-265
			4H	+180	0	+355	0	4h	0	-132	0	-265
			5G	+277	+53	+503	+53	5g6g	-53	-223	-53	-478
			5H	+224	0	+450	0	5h4h	0	-170	0	-265
			—	—	—	—	—	5h6h	0	-170	0	-425
			—	—	—	—	—	6e	-90	-302	-90	-515
			—	—	—	—	—	6f	-70	-282	-70	-495
			6G	+333	+53	+613	+53	6g	-53	-265	-53	-478
			6H	+280	0	+560	0	6h	0	-212	0	-425
			—	—	—	—	—	7e6e	-90	-355	-90	-515
			7G	+408	+53	+763	+53	7g6g	-53	-318	-53	-478
			7H	355	0	+710	0	7h6h	0	-265	0	-425
			8G	+503	+53	+953	+53	8g	-53	-388	-53	-723
			8H	+450	0	+900	0	9g8g	-53	-478	-53	-723

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	4	—	—	—	—	—	3h4h	0	−112	0	−300
			4H	+190	0	+375	0	4h	0	−140	0	−300
			5G	+296	+60	+535	+60	5g6g	−60	−240	−60	−535
			5H	+236	0	+475	0	5h4h	0	−180	0	−300
			—	—	—	—	—	5h6h	0	−180	0	−475
			—	—	—	—	—	6e	−95	−319	−95	−570
			—	—	—	—	—	6f	−75	−299	−75	−550
			6G	+360	+60	+660	+60	6g	−60	−284	−60	−535
			6H	+300	0	+600	0	6h	0	−224	0	−475
			—	—	—	—	—	7e6e	−95	−375	−95	−570
			7G	+435	+60	+810	+60	7g6g	−60	−340	−60	−535
			7H	+375	0	+750	0	7h6h	0	−280	0	−475
			8G	+535	+60	+1010	+60	8g	−60	−415	−60	−810
			8H	+475	0	+950	0	9g8g	−60	−510	−60	−810

（续）

基本大径/mm		螺距/mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d_1	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	4.5	—	—	—	—	—	3h4h	0	-118	0	-315
			4H	+200	0	+425	0	4h	0	-150	0	-315
			5G	+313	+63	+593	+63	5g6g	-63	-253	-63	-563
			5H	+250	0	+530	0	5h4h	0	-190	0	-315
			—	—	—	—	—	5h6h	0	-190	0	-500
			—	—	—	—	—	6e	-100	-336	-100	-600
			—	—	—	—	—	6f	-80	-316	-80	-580
			6G	+378	+63	+733	+63	6g	-63	-299	-63	-563
			6H	+315	0	+670	0	6h	0	-236	0	-500
			—	—	—	—	—	7e6e	-100	-400	-100	-600
			7G	+463	+63	+913	+63	7g6g	-63	-363	-63	-563
			7H	+400	0	+850	0	7h6h	0	-300	0	-500
			8G	+563	+63	+1123	+63	8g	-63	-438	-63	-863
			8H	+500	0	+1060	0	9g8g	-63	-538	-63	-863

大批生产的紧固件螺纹（中等公差精度和中等旋合长度，6H/6g），不标注其公差带代号。

表示螺纹配合时，内螺纹公差带代号在前，外螺纹公差带代号在后，中间用斜线分开。

对旋合长度为短组和长组的螺纹，在公差带代号后应分别标注“S”和“L”代号。旋合长度代号与公差带间用“-”号分开。中等旋合长度组不标注旋合长度代号（N）。

左旋螺纹应在旋合长度代号之后标注“LH”代号。旋合长度代号与旋向代号间用“-”号分开。右旋螺纹不标注旋向代号。

2. 标记示例

（1）普通螺纹特征代号和尺寸代号部分的标注

1）公称直径为 8mm、螺距为 1mm 的单线细牙普通螺纹：M8×1。

2）公称直径为 8mm、螺距为 1.25mm 的单线粗牙普通螺纹：M8。

3）公称直径为 16mm、螺距为 1.5mm、导程为 3mm 的双线普通螺纹：M16×Ph3P1.5。

（2）增加公差带代号后的标注

1）中径公差带和顶径公差带均为 6g 的粗牙普通外螺纹：M10-6g。

2）中径公差带和顶径公差带均为 6H 的粗牙普通内

螺纹：M10-6H。

3）中径公差带和顶径公差带均为6g、中等公差精度的粗牙普通外螺纹：M10。

4）中径公差带和顶径公差带均为6H、中等公差精度的粗牙内螺纹：M10。

5）公差带为6H的普通内螺纹与公差带为6g的普通外螺纹组成配合：M20×2-6H/6g。

6）公差带为6H的普通内螺纹与公差带为6g的普通外螺纹组成配合（中等公差精度、粗牙）：M6。

（3）增加旋合长度代号后的标注

1）短旋合长度的普通内螺纹：M20×2-5H-S。

2）长旋合长度的普通内、外螺纹：M6-7H/7g6g-L。

3）中等旋合长度的普通外螺纹（粗牙、中等精度的6g公差带）：M6。

（4）增加旋向代号后的标注（完整标记）：

1）左旋螺纹：M8×1-LH（公差带代号和旋合长度代号被省略）；

M6×0.75-5h6h-S-LH；

M14×Ph6P2-7H-L-LH。

2）右旋螺纹：M6（螺距、公差带代号、旋合长度代号和旋向代号被省略）。

A. 2　梯形螺纹

A. 2. 1　梯形螺纹牙型（GB/T 5796. 1—2005）

GB/T 5796. 1—2005 规定了两种梯形螺纹牙型，即基本牙型和设计牙型。

（1）基本牙型　基本牙型是由顶角为 30°的原始等腰三角形，截去顶部和底部所形成的内、外螺纹共有的牙型。梯形螺纹基本牙型如图 A-4 所示。

图 A-4　梯形螺纹基本牙型

D—内螺纹大径　d_2—外螺纹中径　P—螺距

d—外螺纹大径（公称直径）　D_1—内螺纹小径

H—原始三角形高度　D_2—内螺纹中径　d_1—外螺纹小径

H_1—基本牙型高度

（2）设计牙型　设计牙型与基本牙型的不同点为大径和小径间都留有一定间隙，牙顶、牙底给出了制造所需的圆弧。梯形螺纹设计牙型如图 A-5 所示。

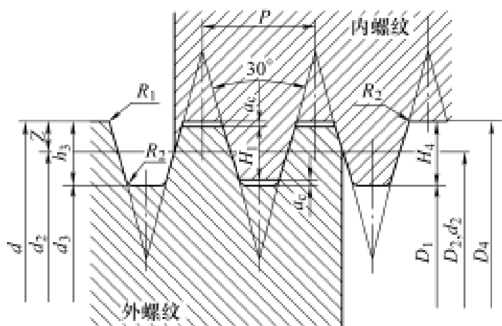


图 A-5　梯形螺纹设计牙型

外螺纹大径	d
螺距	P
牙顶间隙	a_c
基本牙型高度	$H_1 = 0.5P$
外螺纹牙高	$h_3 = H_1 + a_c = 0.5P + a_c$
内螺纹牙高	$H_4 = H_1 + a_c = 0.5P + a_c$
牙顶高	$Z = 0.25P = H_1/2$
外螺纹中径	$d_2 = d - 2Z = d - 0.5P$
内螺纹中径	$D_2 = d - 2Z = d - 0.5P$
外螺纹小径	$d_3 = d - 2h_3$
内螺纹小径	$D_1 = d - 2H_1 = d - P$
内螺纹大径	$D_4 = d + 2a_c$
外螺纹牙顶圆角	$R_{1max} = 0.5a_c$
牙底圆角	$R_{2max} = a_c$

A.2.2 梯形螺纹直径与螺距的标准组合系列（表 A-11）

表 A-11 梯形螺纹直径与螺距的标准组合系列（GB/T 5796.2—2005）（单位：mm）

公称直径			螺距 P
第一系列	第二系列	第三系列	
8			1.5
	9		**2**,1.5
10			**2**,1.5
	11		3,**2**
12			**3**,2
	14		**3**,2
16			**4**,2
	18		**4**,2
20			**4**,2
	22		8,**5**,3
24			8,**5**,3
	26		8,**5**,3
28			8,**5**,3
	30		10,**6**,3
32			10,**6**,3
	34		10,**6**,3
36			10,**6**,3
	38		10,**7**,3
40			10,**7**,3
	42		10,**7**,3
44			12,**7**,3

（续）

公称直径			螺距 P
第一系列	第二系列	第三系列	
	46		12,**8**,3
48			12,**8**,3
	50		12,**8**,3
52			12,**8**,3
	55		14,**9**,3
60			14,**9**,3
	65		16,**10**,4
70			16,**10**,4
	75		16,**10**,4
80			16,**10**,4
	85		18,**12**,4
90			18,**12**,4
	95		18,**12**,4
100			20,**12**,4
		105	20,**12**,4
	110		20,**12**,4
		115	22,**14**,6
120			22,**14**,6
		125	22,**14**,6
	130		22,**14**,6
		135	24,**14**,6
140			24,**14**,6

（续）

公称直径			螺距 P
第一系列	第二系列	第三系列	
		145	24,**14**,6
	150		24,**16**,6
		155	24,**16**,6
160			28,**16**,6
		165	28,**16**,6
	170		28,**16**,6
		175	28,**16**,8
180			28,**18**,8
		185	32,**18**,8
	190		32,**18**,8
		195	32,**18**,8
200			32,**18**,8
	210		36,**20**,8
220			36,**20**,8
	230		36,**20**,8
240			36,**22**,8
	250		40,**22**,12
260			40,**22**,12
	270		40,**24**,12
280			40,**24**,12
	290		44,**24**,12
300			44,**24**,12

注：应优先选用第一系列直径和黑体字螺距。

A. 2. 3　梯形螺纹基本尺寸（表 A-12）

表 A-12　梯形螺纹基本尺寸（GB/T 5796. 3—2005）

（单位：mm）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
8			1.5	7.250	8.300	6.200	6.500
	9		1.5 2	8.250 8.000	9.300 9.500	7.200 6.500	7.500 7.000
10			1.5 2	9.250 9.000	10.300 10.500	8.200 7.500	8.500 8.000
	11		2 3	10.000 9.500	11.500 11.500	8.500 7.500	9.000 8.000
12			2 3	11.000 10.500	12.500 12.500	9.500 8.500	10.000 9.000
	14		2 3	13.000 12.500	14.500 14.500	11.500 10.500	12.000 11.000
16			2 4	15.000 14.000	16.500 16.500	13.500 11.500	14.000 12.000
	18		2 4	17.000 16.000	18.500 18.500	15.500 13.500	16.000 14.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
20			2 4	19.000 18.000	20.500 20.500	17.500 15.500	18.000 16.000
	22		3 5 8	20.500 19.500 18.000	22.500 22.500 23.000	18.500 16.500 13.000	19.000 17.000 14.000
24			3 5 8	22.500 21.500 20.000	24.500 24.500 25.000	20.500 18.500 15.000	21.000 19.000 16.000
	26		3 5 8	24.500 23.500 22.000	26.500 26.500 27.000	22.500 20.500 17.000	23.000 21.000 18.000
28			3 5 8	26.500 25.500 24.000	28.500 28.500 29.000	24.500 22.500 19.000	25.000 23.000 20.000
	30		3 6 10	28.500 27.000 25.000	30.500 31.000 31.000	26.500 23.000 19.000	27.000 24.000 20.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
32			3 6 10	30.500 29.000 27.000	32.500 33.000 33.000	28.500 25.000 21.000	29.000 26.000 22.000
	34		3 6 10	32.500 31.000 29.000	34.500 35.000 35.000	30.500 27.000 23.000	31.000 28.000 24.000
36			3 6 10	34.500 33.000 31.000	36.500 37.000 37.000	32.500 29.000 25.000	33.000 30.000 26.000
	38		3 7 10	36.500 34.500 33.000	38.500 39.000 39.000	34.500 30.000 27.000	35.000 31.000 28.000
40			3 7 10	38.500 36.500 35.000	40.500 41.000 41.000	36.500 32.000 29.000	37.000 33.000 30.000
	42		3 7 10	40.500 38.500 37.000	42.500 43.000 43.000	38.500 34.000 31.000	39.000 35.000 32.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
44			3	42.500	44.500	40.500	41.000
			7	40.500	45.000	36.000	37.000
			12	38.000	45.000	31.000	32.000
	46		3	44.500	46.500	42.500	43.000
			8	42.000	47.000	37.000	38.000
			12	40.000	47.000	33.000	34.000
48			3	46.500	48.500	44.500	45.000
			8	44.000	49.000	39.000	40.000
			12	42.000	49.000	35.000	36.000
	50		3	48.500	50.500	46.500	47.000
			8	46.000	51.000	41.000	42.000
			12	44.000	51.000	37.000	38.000
52			3	50.500	52.500	48.500	49.000
			8	48.000	53.000	43.000	44.000
			12	46.000	53.000	39.000	40.000
	55		3	53.500	55.500	51.500	52.000
			9	50.500	56.000	45.000	46.000
			14	48.000	57.000	39.000	41.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
60			3	58.500	60.500	56.500	57.000
			9	55.500	61.000	50.000	51.000
			14	53.000	62.000	44.000	46.000
	65		4	63.000	65.500	60.500	61.000
			10	60.000	66.000	54.000	55.000
			16	57.000	67.000	47.000	49.000
70			4	68.000	70.500	65.500	66.000
			10	65.000	71.000	59.000	60.000
			16	62.000	72.000	52.000	54.000
	75		4	73.000	75.500	70.500	71.000
			10	70.000	76.000	64.000	65.000
			16	67.000	77.000	57.000	59.000
80			4	78.000	80.500	75.500	76.000
			10	75.000	81.000	69.000	70.000
			16	72.000	82.000	62.000	64.000
	85		4	83.000	85.500	80.500	81.000
			12	79.000	86.000	72.000	73.000
			18	76.000	87.000	65.000	67.000
90			4	88.000	90.500	85.500	86.000
			12	84.000	91.000	77.000	78.000
			18	81.000	92.000	70.000	72.000

A. 2. 4　梯形螺纹公差（GB/T 5796. 4—2005）

（1）公差带位置与基本偏差　内螺纹大径 D_4、中径 D_2 和小径 D_1 的公差带位置为 H，其基本偏差 EI 为零，如图 A-6 所示。

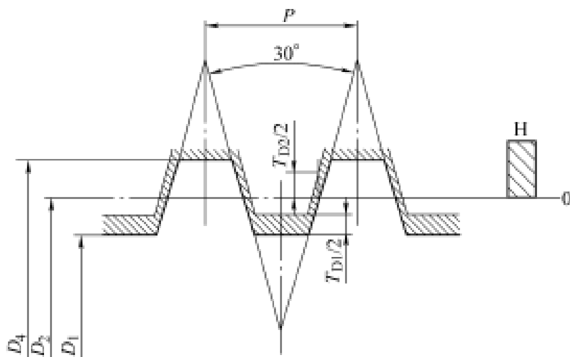


图 A-6　梯形螺纹内螺纹的公差带位置

外螺纹中径 d_2 的公差带位置为 e 和 c，其基本偏差 es 为负值；外螺纹大径 d 和小径 d_3 的公差带位置为 h，其基本偏差 es 为零，如图 A-7 所示。

外螺纹大径和小径的公差带基本偏差为零，与中径公差带位置无关。

（2）内、外螺纹中径的基本偏差（表 A-13）

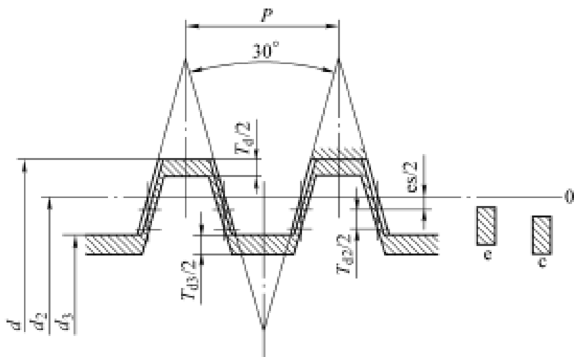


图 A-7　梯形螺纹外螺纹的公差带位置

表 A-13　内、外螺纹中径基本偏差

（单位：μm）

螺距 P/mm	基本偏差		
	内螺纹	外螺纹	
	D_2	d_2	
	H EI	c es	e es
1.5	0	−140	−67
2	0	−150	−71
3	0	−170	−85
4	0	−190	−95
5	0	−212	−106
6	0	−236	−118

（续）

螺距 P/mm	基本偏差		
	内螺纹	外螺纹	
	D_2	d_2	
	H EI	c es	e es
7	0	−250	−125
8	0	−265	−132
9	0	−280	−140
10	0	−300	−150
12	0	−335	−160
14	0	−355	−180
16	0	−375	−190
18	0	−400	−200
20	0	−425	−212

（3）内、外螺纹各直径公差等级（表 A-14）

表 A-14　内、外螺纹各直径公差等级

直　　径	公 差 等 级
内螺纹小径 D_1	4
外螺纹大径 d	4
内螺纹中径 D_2	7、8、9
外螺纹中径 d_2	（6）* 7、8、9
外螺纹小径 d_3	7、8、9

注：带“ * ”的 6 级公差仅是为了计算 7、8、9 级公差值而列出的。

（4）内螺纹小径公差（表 A-15）

表 A-15　内螺纹小径公差 T_{D1}　（单位：μm）

螺距 P/mm	4 级公差	螺距 P/mm	4 级公差
1.5 2 3	190 236 315	10 12 14	710 800 900
4 5 6	375 450 500		
7 8 9	560 630 670	16 18 20	1000 1120 1180

（5）外螺纹大径公差（表 A-16）

表 A-16　外螺纹大径公差 T_d　（单位：μm）

螺距 P/mm	4 级公差	螺距 P/mm	4 级公差
1.5 2 3	150 180 236	10 12 14	530 600 670
4 5 6	300 335 375		
7 8 9	425 450 500	16 18 20	710 800 850

（6）内螺纹中径公差（表 A-17）

表 A-17　内螺纹中径公差 T_{D2}

（单位：μm）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公差等级		
>	≤		7	8	9
5.6	11.2	1.5	224	280	355
		2	250	315	400
		3	280	355	450
11.2	22.4	2	265	335	425
		3	300	375	475
		4	355	450	560
		5	375	475	600
		8	475	600	750
22.4	45	3	335	425	530
		5	400	500	630
		6	450	560	710
		7	475	600	750
		8	500	630	800
		10	530	670	850
		12	560	710	900
45	90	3	355	450	560
		4	400	500	630
		8	530	670	850

（续）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公差等级		
>	≤		7	8	9
45	90	9	560	710	900
		10	560	710	900
		12	630	800	1000
		14	670	850	1060
		16	710	900	1120
		18	750	950	1180

（7）外螺纹中径公差（表 A-18）

表 A-18　外螺纹中径公差 T_{d2}

（单位：μm）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公差等级		
>	≤		7	8	9
5.6	11.2	1.5	170	212	265
		2	190	236	300
		3	212	265	335
11.2	22.4	2	200	250	315
		3	224	280	355
		4	265	335	425
		5	280	355	450
		8	355	450	560

（续）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公差等级		
>	≤		7	8	9
22.4	45	3	250	315	400
		5	300	375	475
		6	335	425	530
		7	355	450	560
		8	375	475	600
		10	400	500	630
		12	425	530	670
45	90	3	265	335	425
		4	300	375	475
		8	400	500	630
		9	425	530	670
		10	425	530	670
		12	475	600	750
		14	500	630	800
		16	530	670	850
		18	560	710	900

（8）外螺纹小径公差（表 A-19）

表 A-19　外螺纹小径公差 T_{d3}

（单位：μm）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	中径公差带位置为 c 公差等级			中径公差带位置为 e 公差等级		
>	≤		7	8	9	7	8	9
5.6	11.2	1.5	352	405	471	279	332	398
		2	388	445	525	309	366	446
		3	435	501	589	350	416	504
11.2	22.4	2	400	462	544	321	383	465
		3	450	520	614	365	435	529
		4	521	609	690	426	514	595
		5	562	656	775	456	550	669
		8	709	828	965	576	695	832
22.4	45	3	482	564	670	397	479	585
		5	587	681	806	481	575	700
		6	655	767	899	537	649	781
		7	694	813	950	569	688	825
		8	734	859	1015	601	726	882
		10	800	925	1087	650	775	937
		12	866	998	1223	691	823	1048
45	90	3	501	589	701	416	504	616
		4	565	659	784	470	564	689
		8	765	890	1052	632	757	919

（续）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	中径公差带位置为 c			中径公差带位置为 e		
			公差等级			公差等级		
>	≤		7	8	9	7	8	9
45	90	9	811	943	1118	671	803	978
		10	831	963	1138	681	813	988
		12	929	1085	1273	754	910	1098
		14	970	1142	1355	805	967	1180
		16	1038	1213	1438	853	1028	1253
		18	1100	1288	1525	900	1088	1320

（9）多线螺纹中径公差系数　多线螺纹的顶径公差和底径公差与单线螺纹相同。多线螺纹的中径公差是在单线螺纹中径公差的基础上，按线数不同分别乘以修正系数而得到的。多线螺纹中径公差修正系数见表 A-20。

表 A-20　多线螺纹中径公差修正系数

线　　数	2	3	4	≥5
修正系数	1.12	1.25	1.4	1.6

（10）螺纹公差带的选用　梯形螺纹规定了中等和粗糙两种精度，选择原则是，中等为一般用途，粗糙在对精度要求不高时采用。内、外梯形螺纹公差带的选用见表 A-21。

表 A-21　内、外梯形螺纹公差带的选用

精　　度	内　螺　纹		外　螺　纹	
	N	L	N	L
中　等	7H	8H	7e	8e
粗　糙	8H	9H	8c	9c

A. 2. 5　梯形螺纹旋合长度

梯形螺纹旋合长度按公称直径和螺距的大小分为中等旋合长度 N 和长旋合长度 L 两组，见表 A-22。

表 A-22　梯形螺纹旋合长度

（单位：mm）

公称直径 d		螺距 P	旋合长度组		
			N		L
>	≤		>	≤	>
5.6	11.2	1.5	5	15	15
		2	6	19	19
		3	10	28	28
11.2	22.4	2	8	24	24
		3	11	32	32
		4	15	43	43
		5	18	53	53
		8	30	85	85
22.4	45	3	12	36	36
		5	21	63	63
		6	25	75	75
		7	30	85	85
		8	34	100	100
		10	42	125	125
		12	50	150	150

（续）

公称直径 *d*		螺距 *P*	旋合长度组		
			N		L
>	≤		>	≤	>
45	90	3 4 8	15 19 38	45 56 118	45 56 118
		9 10 12	43 50 60	132 140 170	132 140 170
		14 16 18	67 75 85	200 236 265	200 236 265

A. 2. 6　梯形螺纹标记方法及示例

梯形螺纹特征代号用“Tr”表示。单线螺纹用“公称直径×螺距”表示，多线螺纹用“公称直径×导程（P 螺距）”表示。当螺纹为左旋时，需在尺寸规定之后加注“LH”，右旋不注出。

梯形螺纹的标记由梯形螺纹特征代号、尺寸代号、公差带代号及旋合长度代号组成。梯形螺纹公差带代号只标注中径公差带。当旋合长度为 N 组时，不标注旋合长度代号。

示例如下：

内螺纹　　　Tr 40×7-7H

- 中径公差带：7H
- 螺距：7
- 公称直径：40
- 梯形螺纹：Tr

外螺纹　　　Tr 40×7-7e

- 中径公差带：7e
- 螺距：7
- 公称直径：40
- 梯形螺纹：Tr

左旋外螺纹　　　Tr 40×7 LH-7e

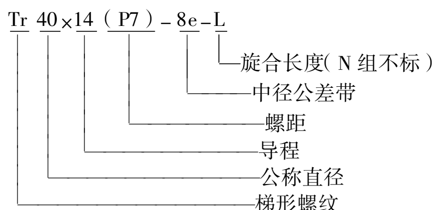
- 中径公差带：7e
- 左旋（右旋不标）：LH
- 螺距：7
- 公称直径：40
- 梯形螺纹：Tr

螺纹副的公差带要分别注出内、外公差代号，前者为内螺纹，后者为外螺纹，中间用斜线分开：

螺纹副　　Tr 40×7-7H/7e

- 内、外螺纹中径公差带：7H/7e
- 螺距：7
- 公称直径：40
- 梯形螺纹：Tr

当旋合长度为 L 组时，组别代号 L 写在公差带代号的后面，并用“-”隔开：



A.3　55°管螺纹

A.3.1　55°密封管螺纹

55°密封管螺纹（GB/T 7306.1～2—2000）规定联接型式有两种，即圆柱内螺纹与圆锥外螺纹联接和圆锥内螺纹与圆锥外螺纹的联接。两种联接形式都具有密封性能，必要时，允许在螺纹副内加入密封填料。

1. 55°密封管螺纹的牙型及要素名称代号

1）圆锥螺纹的设计牙型（图 A-8）。

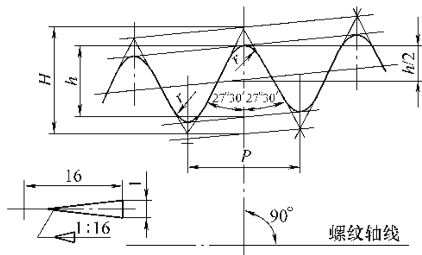


图 A-8　圆锥螺纹的设计牙型

$$P=\frac{25.4}{n}\quad H=0.960237P$$

$$h=0.640327P\quad r=0.137278P$$

n—每 25.4mm 内的牙数

2）圆柱内螺纹的设计牙型（图 A-9）。

3）55°密封管螺纹的要素名称及代号（表 A-23）。

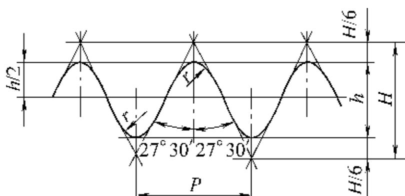


图 A-9　圆柱内螺纹的设计牙型

$$P=\frac{25.4}{n}\quad H=0.960491P\quad h=0.640327P$$

$$r=0.137329P\quad \frac{H}{6}=0.160082P$$

表 A-23　55°密封管螺纹的要素名称及代号

名　　称	代号	名　　称	代号
内螺纹大径	D	牙型高度	h
外螺纹大径	d	圆弧半径	r
内螺纹中径	D_2	每 25.4mm 内的螺纹牙数	n
外螺纹中径	d_2		
内螺纹小径	D_1		
外螺纹小径	d_1	基准距离公差	T_1
螺距	P	圆锥内螺纹基准平面轴向位移公差	T_2
原始三角形高度	H		

2. 55°密封管螺纹的基本尺寸

圆锥管螺纹的尺寸在基准平面上给出，与圆锥外螺纹配合的圆柱内螺纹尺寸与同规格的圆锥内螺纹基面上的尺寸相同。

螺纹中径和小径的数值按下列公式计算：

$$d_2=D_2=d-0.640327P$$

$$d_1=D_1=d-1.280654P$$

55°密封管螺纹的基本尺寸及其公差见表 A-24。

3. 基准平面位置

圆锥外螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线、与小端面（参照平面）相距一个基准距离的平面内（见图 A-10）；圆锥内螺纹、圆柱内螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线深入端面（参照平面）以内 0.5P 的平面内（见图 A-11）。

圆锥外螺纹小端面和圆锥内螺纹大端面的倒角轴向长度不得大于 1P。

圆柱内螺纹外端面的倒角轴向长度不得大于 1P。

4. 螺纹长度

圆锥外螺纹的有效螺纹长度不应小于其基准距离的实际值与装配余量之和。对应基准距离为最大、基本和最小尺寸的三种情况见表 A-24 第 16、15 和 17 项。

图 A-10　圆锥外螺纹上各主要尺寸的分布位置

表 A-24　55°密封管螺纹的

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
尺寸代号	每 25.4mm 内所包含的牙数 n	螺距 P /mm	牙高 h /mm	基准平面内的基本直径/mm			基准距		
				大径(基准直径 $d=D$)	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$	基本	极限偏差 $\pm T_1/2$	
									圈数
1/16	28	0.907	0.581	7.723	7.142	6.561	4	0.9	1
1/8	28	0.907	0.581	9.728	9.147	8.566	4	0.9	1
1/4	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445	6	1.3	1
3/8	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950	6.4	1.3	1
1/2	14	1.814	1.162	20.955	19.793	18.631	8.2	1.8	1
3/4	14	1.814	1.162	26.441	25.279	24.117	9.5	1.8	1
1	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291	10.4	2.3	1
1¼	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952	12.7	2.3	1
1½	11	2.309	1.479	47.803	46.324	44.845	12.7	2.3	1
2	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656	15.9	2.3	1
2½	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226	17.5	3.5	1½
3	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926	20.6	3.5	1½
4	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072	25.4	3.5	1½
5	11	2.309	1.479	138.430	136.951	135.472	28.6	3.5	1½
6	11	2.309	1.479	163.830	162.351	160.872	28.6	3.5	1½

基本尺寸及其公差

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
离/mm		装配余量		外螺纹的有效螺纹不小于/mm			圆锥内螺纹基准平面轴向位置的极限偏差 $\pm T_2/2$		圆柱内螺纹直径的极限偏差 $\pm T_2/2$	
最大	最小			基准距离分别为						
		/mm	圈数	基本	最大	最小	/mm	圈数	径向/mm	轴向圈数
4.9	3.1	2.5	2¾	6.5	7.4	5.6	1.1	1¼	0.071	1¼
4.9	3.1	2.5	2¾	6.5	7.4	5.6	1.1	1¼	0.071	1¼
7.3	4.7	3.7	2¾	9.7	11	8.4	1.7	1¼	0.104	1¼
7.7	5.1	3.7	2¾	10.1	11.4	8.8	1.7	1¼	0.104	1¼
10.0	6.4	5.0	2¾	13.2	15	11.4	2.3	1¼	0.142	1¼
11.3	7.7	5.0	2¾	14.5	16.3	12.7	2.3	1¼	0.142	1¼
12.7	8.1	6.4	2¾	16.8	19.1	14.5	2.9	1¼	0.180	1¼
15.0	10.4	6.4	2¾	19.1	21.4	16.8	2.9	1¼	0.180	1¼
15.0	10.4	6.4	2¾	19.1	21.4	16.8	2.9	1¼	0.180	1¼
18.2	13.6	7.5	3¼	23.4	25.7	21.1	2.9	1¼	0.180	1¼
21.0	14.0	9.2	4	26.7	30.2	23.2	3.5	1½	0.216	1½
24.1	17.1	9.2	4	29.8	33.3	26.3	3.5	1½	0.216	1½
28.9	21.9	10.4	4½	35.8	39.3	32.3	3.5	1½	0.216	1½
32.1	25.1	11.5	5	40.1	43.6	36.6	3.5	1½	0.216	1½
32.1	25.1	11.5	5	40.1	43.6	36.6	3.5	1½	0.216	1½

当圆锥（圆柱）内螺纹的尾部未采用退刀结构时，其最小有效螺纹长度应能容纳具有表 A-24 中第 16 项长度的圆锥外螺纹，当圆锥（圆柱）内螺纹的尾部采用退刀结构时，其容纳长度应能容纳具有表 A-24 中第 16 项长度的圆锥外螺纹，其最小有效螺纹长度应小于表 A-24 中第 17 项规定长度的 80%（图 A-11）。

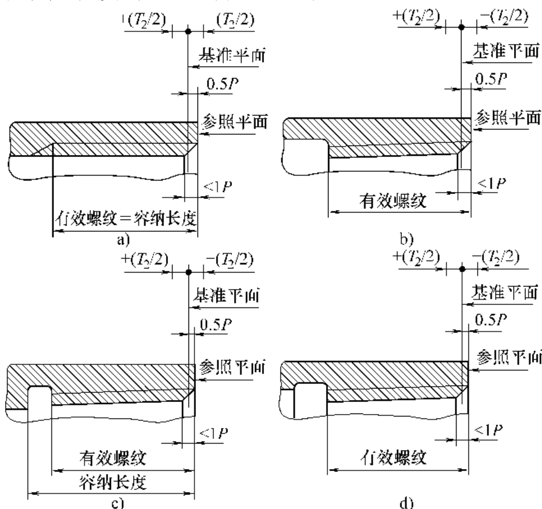


图 A-11　圆锥（圆柱）内螺纹上各主要尺寸的分布位置

5. 公差

圆锥外螺纹基准距离的极限偏差（ $\pm T_1/2$ ）应符合表 A-24 中第 9、10 项的规定。

圆锥内螺纹基准平面位置的极限偏差（ $\pm T_2/2$ ）应

符合表 A-24 中第 18、19 项的规定。

圆柱内螺纹各直径的极限偏差应符合表 A-24 中第 20、21 项的规定。

6. 55°密封管螺纹的标记示例

55°密封管螺纹特征代号如下：

Rc——圆锥内螺纹；

Rp——圆柱内螺纹；

R_1——与 Rp 配合使用的圆锥外螺纹；

R_2——与 Rc 配合使用的圆锥外螺纹。

55°密封管螺纹尺寸代号为表 A-24 中第 1 项所规定的分数或整数。

标记示例：

尺寸代号为 3/4 的右旋圆锥内螺纹的标记为 Rc3/4。

尺寸代号为 3/4 的右旋圆柱内螺纹的标记为 Rp3/4。

与 Rc 配合使用尺寸代号为 3/4 的右旋圆锥外螺纹的标记为 $R_2$3/4。

与 Rp 配合使用尺寸代号为 3/4 的右旋圆锥外螺纹的标记为 $R_1$3/4。

当螺纹为左旋时，应在尺寸代号后加注“LH”。如尺寸代号为 3/4 左旋圆锥内螺纹的标记为 Rc3/4LH。

表示螺纹副时，螺纹特征代号为“Rc/R_2”或“Rp/R_1”。前面为内螺纹的特征代号，后面为外螺纹的特征代号，中间用斜线分开。

圆锥内螺纹与圆锥外螺纹的配合：Rc/$R_2$3/4。

圆柱内螺纹与圆锥外螺纹的配合：Rp/$R_1$3/4。

左旋圆锥内螺纹与圆锥外螺纹的配合 Rc/$R_2$3/4LH。

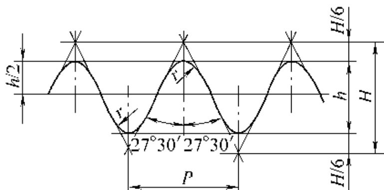
A. 3. 2　55°非密封管螺纹

55°非密封管螺纹（GB/T 7307—2001）规定管螺纹

其内、外螺纹均为圆柱螺纹，不具备密封性能（只是作为机械联接用），若要求联接后具有密封性能，可在螺纹副外采取其他密封方式。

1. 55°非密封管螺纹的牙型及牙型尺寸计算

55°非密封管螺纹的设计牙型如图 A-12 所示。



$$P=\frac{25.4}{n}\quad H=0.960491P\quad h=0.640327P$$

$$r=0.137329P\quad H/6=0.160082P$$

式中　n——每 25.4mm 内的螺纹牙数

图 A-12　55°非密封管螺纹的设计牙型

2. 55°非密封管螺纹的基本尺寸和公差

55°非密封管螺纹的螺纹中径和小径的基本尺寸按下列公式计算：

$$d_2=D_2=d-0.640327P$$

$$d_1=D_1=d-1.280645P$$

对内螺纹中径只规定一种公差，下极限偏差为零，上极限偏差为正。对外螺纹中径公差分为 A 和 B 两个等级，上极限偏差为零，下极限偏差为负。螺纹的牙顶在给出的公差范围内允许削平。

55°非密封管螺纹的基本尺寸和公差见表 A-25。

表 A-25　55°非密封管螺纹的基本尺寸和公差（单位：mm）

螺纹的尺寸代号	每 25.4mm 内的牙数 n	螺距 P	牙型高度 h	圆弧半径 $r\approx$	基本尺寸			外螺纹					内螺纹			
					大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$	大径公差 T_d		中径公差 T_{d2}①			中径公差 T_{D2}①		小径公差 T_{D1}	
								下极限偏差	上极限偏差	下极限偏差 A 级	下极限偏差 B 级	上极限偏差	下极限偏差	上极限偏差	下极限偏差	上极限偏差
1/16	28	0.907	0.581	0.125	7.723	7.142	6.561	−0.214	0	−0.107	−0.214	0	0	+0.107	0	+0.282
1/8	28	0.907	0.581	0.125	9.728	9.147	8.566	−0.214	0	−0.107	−0.214	0	0	+0.107	0	+0.282
1/4	19	1.337	0.856	0.184	13.157	12.301	11.445	−0.250	0	−0.125	−0.250	0	0	+0.125	0	+0.445
3/8	19	1.337	0.856	0.184	16.662	15.806	14.950	−0.250	0	−0.125	−0.250	0	0	+0.125	0	+0.445
1/2	14	1.814	1.162	0.249	20.955	19.793	18.631	−0.284	0	−0.142	−0.284	0	0	+0.142	0	+0.541
5/8	14	1.814	1.162	0.249	22.911	21.749	20.587	−0.284	0	−0.142	−0.284	0	0	+0.142	0	+0.541
3/4	14	1.814	1.162	0.249	26.441	25.279	24.117	−0.284	0	−0.142	−0.284	0	0	+0.142	0	+0.541
7/8	14	1.814	1.162	0.249	30.201	29.039	27.877	−0.284	0	−0.142	−0.284	0	0	+0.142	0	+0.541
1	11	2.309	1.479	0.317	33.249	31.770	30.291	−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
1⅛	11	2.309	1.479	0.317	37.897	36.418	34.939	−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
1¼	11	2.309	1.479	0.317	41.910	40.431	38.952	−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
1½	11	2.309	1.479	0.317	47.803	46.324	44.845	−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640

（续）

螺纹的尺寸代号	每25.4mm内的牙数 n	螺距 P	牙型高度 h	圆弧半径 $r\approx$	基本尺寸			外螺纹					内螺纹			
					大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$	大径公差 T_d		中径公差 T_{d2}①			中径公差 T_{D2}①		小径公差 T_{D1}	
								下极限偏差	上极限偏差	下极限偏差 A级	下极限偏差 B级	上极限偏差	下极限偏差	上极限偏差	下极限偏差	上极限偏差
1¾	11	2.309	1.479	0.317	53.746	52.267	50.788	−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
2	11	2.309	1.479	0.317	59.614	58.135	56.656	−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
2¼	11	2.309	1.479	0.317	65.710	64.231	62.752	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
2½	11	2.309	1.479	0.317	75.184	73.705	72.226	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
2¾	11	2.309	1.479	0.317	81.534	80.055	78.576	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
3	11	2.309	1.479	0.317	87.884	86.405	84.926	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
3½	11	2.309	1.479	0.317	100.330	98.851	97.372	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
4	11	2.309	1.479	0.317	113.030	111.551	110.072	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
4½	11	2.309	1.479	0.317	125.730	124.251	122.772	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
5	11	2.309	1.479	0.317	138.430	136.951	135.472	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
5½	11	2.309	1.479	0.317	151.130	149.651	148.172	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
6	11	2.309	1.479	0.317	163.830	162.351	160.872	−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640

① 对薄壁管件，此公差适用于平均中径，该中径是测量两个互相垂直直径的算术平均值。

55°非密封管螺纹公差带的分布情况如图 A-13 所示。

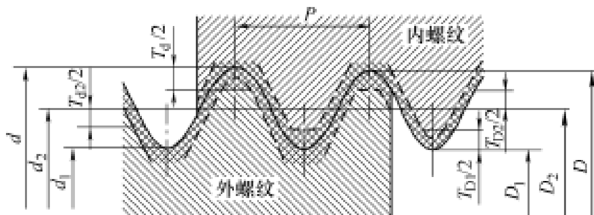


图 A-13　55°非密封管螺纹公差带的分布情况

3. 55°非密封管螺纹的标记示例

55°非密封管螺纹的标记由螺纹特征代号、尺寸代号和公差等级代号组成，55°非密封管螺纹特征代号用字母 G 表示。

标记示例：

外螺纹 A 级　G1½A；

外螺纹 B 级　G1½B；

内螺纹　　　G1½。

当螺纹为左旋时，在公差等级代号后加注“LH”，例如 G1½-LH，G1½A-LH。

当表示螺纹副时，仅需标注外螺纹的标记代号。

A.4　60°密封管螺纹[㊀]

GB/T 12716—2011 规定了 60°密封管螺纹的牙型角为

㊀ 《60°密封管螺纹》（GB/T 12716—2011）等效采用了美国标准 ASME B1.20.1：1983（1992）中密封管螺纹的技术内容。但我国标准中调整了圆锥螺纹单项要素的极限偏差值。

60°，锥度为1∶16，配合后的螺纹副具有密封能力，使用中允许加入密封填料。

内螺纹有圆锥内螺纹和圆柱内螺纹两种，外螺纹仅有圆锥外螺纹一种。内、外螺纹可组成两种密封配合形式，圆锥内螺纹与圆锥外螺纹组成“锥/锥”配合，圆柱内螺纹与圆锥外螺纹组成“柱/锥”配合。

A.4.1 60°密封管螺纹的术语及代号（表A-26）

表A-26 60°密封管螺纹的术语及代号

术　　语	代　　号
内螺纹在基准平面内的大径	D
外螺纹在基准平面内的大径	d
内螺纹在基准平面内的中径	D_2
外螺纹在基准平面内的中径	d_2
内螺纹在基准平面内的小径	D_1
外螺纹在基准平面内的小径	d_1
螺距	P
原始三角形高度	H
螺纹牙型高度	h
每25.4mm轴向长度内所包含的螺纹牙数	n
削平高度	f
基准直径	—
基准平面	—
基准距离	L_1
完整螺纹长度	L_5

（续）

术　　语	代　　号
不完整螺纹长度	L_6
螺尾长度	V
有效螺纹长度	L_2
装配余量	L_3
旋紧余量	L_4

A. 4. 2　60°密封管螺纹的牙型

圆柱内螺纹的牙型（图 A-14a）；圆锥内、外螺纹的牙型（图 A-14b）。

1）60°密封管螺纹的牙型尺寸计算公式。

$$P=\frac{25.4}{n}\quad H=0.866025P$$

$$h=0.800000P\quad f=0.033P$$

2）60°密封管螺纹的牙顶高和牙底高公差见表 A-27。

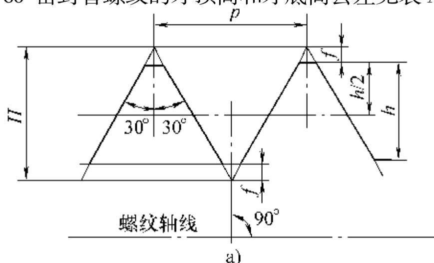


图 A-14　螺纹牙型

a）圆柱内螺纹的牙型

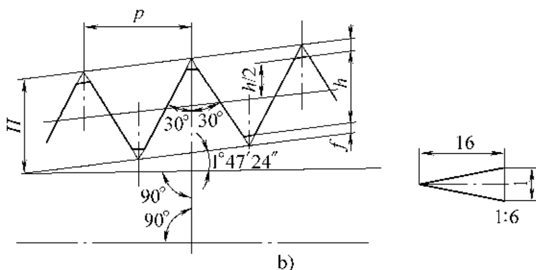
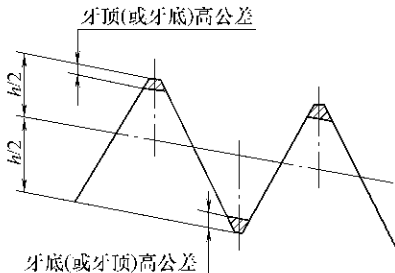


图 A-14　螺纹牙型（续）

b）圆锥内、外螺纹的牙型

表 A-27　60°圆锥管螺纹的牙顶高和牙底高公差



每 25.4mm 的螺纹牙数	牙顶高和牙底高公差/mm
27	0.061
18	0.079

（续）

每 25.4mm 的螺纹牙数	牙顶高和牙底高公差/mm
14	0.081
11.5	0.086
8	0.094

A.4.3 圆锥管螺纹的基本尺寸及公差

1）圆锥管螺纹各主要尺寸的位置如图 A-15 所示，基本尺寸见表 A-28。

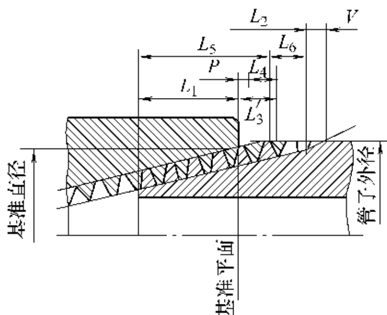


图 A-15 圆锥外螺纹上各主要尺寸的分布位置

2）基准平面位置。圆锥外螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线、与小端面（参照平面）相距一个基准距离的平面内。内螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线的端面（参考平面）内，如图A-15所示。

表 A-28 圆锥管螺纹的基本尺寸

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
螺纹的尺寸代号	25.4mm内包含的牙数 n	螺距 P /mm	牙型高度 h /mm	基准平面内的基本直径/mm			基准距离 L_1		装配余量 L_3		外螺纹小端面内的基本小径/mm
				大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$	圈数	mm	圈数	mm	
1/16	27	0.941	0.752	7.894	7.142	6.389	4.32	4.064	3	2.822	6.137
1/8	27	0.941	0.752	10.242	9.489	8.737	4.36	4.102	3	2.822	8.481
1/4	18	1.411	1.129	13.616	12.487	11.358	4.10	5.785	3	4.233	10.996
3/8	18	1.411	1.129	17.055	15.926	14.797	4.32	6.096	3	4.233	14.417
1/2	14	1.814	1.451	21.224	19.772	18.321	4.48	8.128	3	5.443	17.813
3/4	14	1.814	1.451	26.569	25.117	23.666	4.75	8.618	3	5.443	23.127
1	11.5	2.209	1.767	33.228	31.461	29.694	4.60	10.160	3	6.626	29.060
1¼	11.5	2.209	1.767	41.985	40.218	38.451	4.83	10.668	3	6.626	37.785
1½	11.5	2.209	1.767	48.054	46.287	44.520	4.83	10.668	3	6.626	43.853
2	11.5	2.209	1.767	60.092	58.325	56.558	5.01	11.065	3	6.626	55.867
2½	8	3.175	2.540	72.699	70.159	67.619	5.46	17.335	2	6.350	66.535
3	8	3.175	2.540	88.608	86.068	83.528	6.13	19.463	2	6.350	82.311

（续）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
螺纹的尺寸代号	25.4mm 内包含的牙数 n	螺距 P /mm	牙型高度 h /mm	基准平面内的基本直径 /mm			基准距离 L_1		装配余量 L_3		外螺纹小端面内的基本小径/mm
				大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$	圈数	mm	圈数	mm	
3½	8	3.175	2.540	101.316	98.776	96.236	6.57	20.860	2	6.350	94.932
4	8	3.175	2.540	113.973	111.433	108.893	6.75	21.431	2	6.350	107.554
5	8	3.175	2.540	140.952	138.412	135.872	7.50	23.812	2	6.350	134.384
6	8	3.175	2.540	167.792	165.252	162.712	7.66	24.320	2	6.350	161.191
8	8	3.175	2.540	218.441	215.901	213.361	8.50	26.988	2	6.350	211.673
10	8	3.175	2.540	272.312	269.772	267.232	9.68	30.734	2	6.350	265.311
12	8	3.175	2.540	323.032	320.492	317.952	10.88	34.544	2	6.350	315.793
14	8	3.175	2.540	354.904	352.364	349.824	12.50	39.688	2	6.350	347.345
16	8	3.175	2.540	405.784	403.244	400.704	14.50	46.038	2	6.350	397.828
18	8	3.175	2.540	456.565	454.025	451.485	16.00	50.800	2	6.350	448.310
20	8	3.175	2.540	507.246	504.706	502.166	17.00	53.975	2	6.350	498.792
24	8	3.175	2.540	608.608	606.068	603.528	19.00	60.325	2	6.350	599.758

注：1. 可参照表中第 12 栏数据选择攻丝前的麻花钻直径。

2. 螺纹收尾长度（V）为 3.47P。

3）公差。

① 圆锥螺纹基准平面的轴向位置极限偏差为 ±1P。

② 大径和小径公差应以保证螺纹牙顶高和牙底高尺寸所规定的公差范围（见表 A-27）。

③ 螺纹单项要素极限偏差见表 A-29。

A.4.4　圆柱内螺纹的基本尺寸及公差

1）圆柱内螺纹大径、中径和小径的基本尺寸与圆锥螺纹在基准平面内的大径、中径和小径基本尺寸相等（表 A-28）。

表 A-29　圆锥螺纹的单项要素极限偏差

在 25.4mm 轴向长度内所包含的牙数 n	中径线锥度（1/16）的极限偏差	有效螺纹的导程累积偏差/mm	牙侧角偏差/(°)
27	+1/96 −1/192	±0.076	±1.25
18,14			±1
11.5,8			±0.75

注：对有效螺纹长度大于 25.4mm 的螺纹，其导程累积误差的最大测量跨度为 25.4mm。

2）基准平面的位置。圆柱内螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线的端面内。

3）大径和小径公差。应以保证螺纹牙顶高和牙底高尺寸所规定的公差范围（表 A-27）。

4）圆柱内螺纹基准平面的位置极限偏差为 ±1.5P。

5）圆柱内螺纹的极限尺寸见表 A-30。

表 A-30　圆柱内螺纹的极限尺寸

螺纹的尺寸代号	在 25.4mm 长度内所包含的牙数 n	中径/mm		小径/mm
		max	min	min
1/8	27	9.578	9.401	8.636
1/4	18	12.618	12.355	11.227
3/8	18	16.057	15.794	14.656
1/2	14	19.941	19.601	18.161
3/4	14	25.288	24.948	23.495
1	11.5	31.668	31.255	29.489
1¼	11.5	40.424	40.010	38.252
1½	11.5	46.494	46.081	44.323
2	11.5	58.531	58.118	56.363
2½	8	70.457	69.860	67.310
3	8	86.365	85.771	83.236
3½	8	99.072	98.479	95.936
4	8	111.729	111.135	108.585

注：可参照最小小径数据选择攻螺纹前的麻花钻直径。

A.4.5　有效螺纹的长度

圆锥外螺纹的有效螺纹长度不应小于其基准距离的实际尺寸与装配余量之和。内螺纹的有效螺纹长度不应小于其基准平面位置的实际偏差、基准距离的基本尺寸与装配余量之和。

A.4.6　倒角对基准平面理论位置的影响

1）在外螺纹的小端面倒角，其基准平面的理论位置

不变，如图 A-16a 所示。

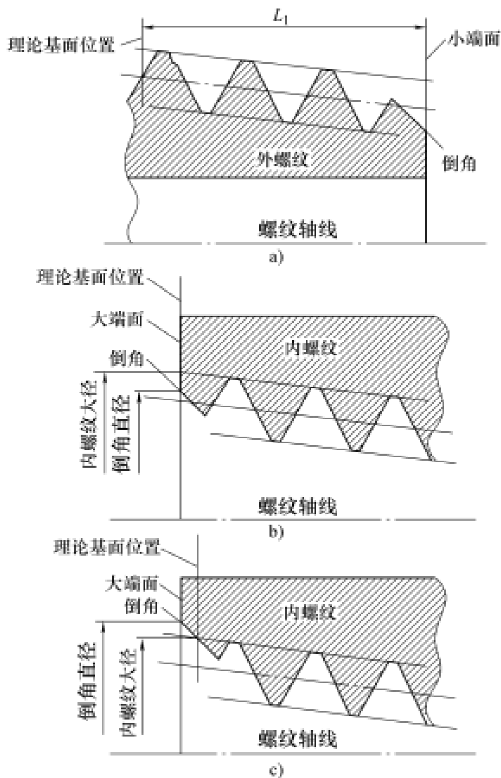


图 A-16　倒角对基准平面理论位置的影响

2）在内螺纹的大端面倒角，如果倒角的直径小于或等于大端面上的内螺纹的大径，则基准平面的轴向理论位置不变，如图 A-16b 所示。

3）在内螺纹的大端面倒角，如果倒角的直径大于大端面上内螺纹的大径，则基准平面的理论位置位于内螺纹大径圆锥或大径圆柱与倒角圆锥相交的轴向位置处，如图 A-16c 所示。

A.4.7　60°密封管螺纹标记方法及示例

60°密封管螺纹的标记由螺纹特征代号、螺纹尺寸代号和螺纹牙数组成，尺寸代号见表 A-28。

螺纹特征代号：NPT——圆锥管螺纹；
NPSC——圆柱内螺纹。

标记示例：

尺寸代号为 3/4、14 牙的右旋圆柱内螺纹 NPSC3/4－14

尺寸代号为 6 的右旋圆锥内螺纹或圆锥外螺纹 NPT 6

当螺纹为左旋时，应在尺寸代号后面加注“LH”。

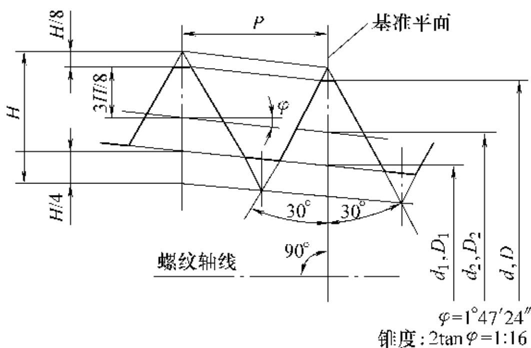
A.5　米制密封螺纹

GB/T 1415—2008 规定米制密封螺纹（Mc、Mp）有两种配合方式：圆柱内螺纹与圆锥外螺纹组成“柱/锥”配合，圆锥内螺纹与圆锥外螺纹组成“锥/锥”配合。为提高密封性，允许在螺纹配合面加密封填料。

A.5.1　牙型

1）米制密封圆柱内螺纹的牙型见表 A-1 中图。

2）米制密封圆锥螺纹的基本牙型如图 A-17。



$$H=\frac{\sqrt{3}}{2}P=0.866025404P \quad \frac{H}{4}=0.216506351P$$

$$\frac{5}{8}H=0.541265877P \quad \frac{H}{8}=0.108253175P$$

图 A-17　米制密封圆锥螺纹的基本牙型

A. 5. 2　基准平面的位置

圆锥外螺纹基准平面的理论位置在垂直于螺纹轴线、与小端面相距一个基准距离的平面内。内螺纹基准平面的理论位置在垂直于螺纹轴线的端面内，如图 A-18 所示。

A. 5. 3　基本尺寸

米制密封螺纹的基本尺寸见表 A-31。其中

$$D_2=d_2=d-0.6495P$$

$$D_1=d_1=d-1.0825P。$$

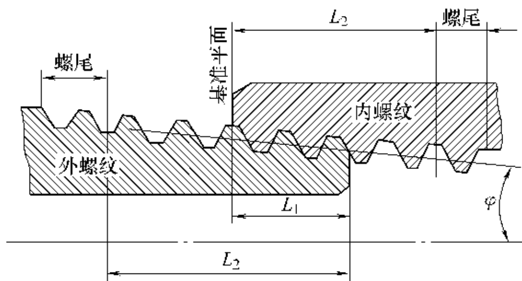


图 A-18　米制密封螺纹基准平面理论的位置及各主要尺寸的分布位置

表 A-31　米制密封螺纹的基本尺寸　（单位：mm）

公称直径 D，d	螺距 P	基准平面内的直径①			基准距离②		最小有效螺纹长度②	
		大径 D，d	中径 D_2，d_2	小径 D_1，d_1	标准型 L_1	短型 $L_{1短}$	标准型 L_2	短型 $L_{2短}$
8	1	8.000	7.350	6.917	5.500	2.500	8.000	5.500
10	1	10.000	9.350	8.917	5.500	2.500	8.000	5.500
12	1	12.000	11.350	10.917	5.500	2.500	8.000	5.500
14	1.5	14.000	13.026	12.376	7.500	3.500	11.000	8.500
16	1	16.000	15.350	14.917	5.500	2.500	8.000	5.500
	1.5	16.000	15.026	14.376	7.500	3.500	11.000	8.500
20	1.5	20.000	19.026	18.376	7.500	3.500	11.000	8.500
27	2	27.000	25.701	24.835	11.000	5.000	16.000	12.000
33	2	33.000	31.701	30.835	11.000	5.000	16.000	12.000

（续）

公称直径 D，d	螺距 P	基准平面内的直径[①]			基准距离[②]		最小有效螺纹长度[②]	
		大径 D，d	中径 D_2，d_2	小径 D_1，d_1	标准型 L_1	短型 $L_{1短}$	标准型 L_2	短型 $L_{2短}$
42	2	42.000	40.701	39.835	11.000	5.000	16.000	12.000
48	2	48.000	46.701	45.835	11.000	5.000	16.000	12.000
60	2	60.000	58.701	57.835	11.000	5.000	16.000	12.000
72	3	72.000	70.051	68.752	16.500	7.500	24.000	18.000
76	2	76.000	74.701	73.835	11.000	5.000	16.000	12.000
90	2	90.000	88.701	87.835	11.000	5.000	16.000	12.000
	3	90.000	88.051	86.752	16.500	7.500	24.000	18.000
115	2	115.000	113.701	112.835	11.000	5.000	16.000	12.000
	3	115.000	113.051	111.752	16.500	7.500	24.000	18.000
140	2	140.000	138.701	137.835	11.000	5.000	16.000	12.000
	3	140.000	138.051	136.752	16.500	7.500	24.000	18.000
170	3	170.000	168.051	166.752	16.500	7.500	24.000	18.000

① 对圆锥螺纹，不同轴向位置平面内的螺纹直径数值是不同的。要注意各直径的轴向位置。

② 基准距离有两种型式：标准型和短型。两种基准距离分别对应两种型式的最小有效螺纹长度。标准型基准距离 L_1 和标准型最小有效螺纹长度 L_2 适用于由圆锥内螺纹与圆锥外螺纹组成的“锥/锥”配合螺纹；短型基准距离 $L_{1短}$ 和短型最小有效螺纹长度 $L_{2短}$ 适用于由圆柱内螺纹与圆锥外螺纹组成的“柱/锥”配合螺纹。选择时要注意两种配合形式对应两组不同的基准距离和最小有效螺纹长度，避免选择错误。

A.5.4　公差

圆锥螺纹基准平面位置的极限偏差见表 A-32。

圆柱内螺纹的中径公差带为 5H，小径公差带为 4H，其公差值在普通螺纹公差表中查取。圆柱内螺纹的大径极限偏差见表 A-33。

A.5.5　螺纹长度

米制密封圆锥螺纹的最小有效螺纹长度不应小于表 A-31 的规定值。米制密封圆柱内螺纹的最小有效螺纹长度不应小于表 A-31 规定值的 80%。

表 A-32　圆锥螺纹基准平面位置的极限偏差

（单位：mm）

螺距 P	外螺纹基准平面的极限偏差（$\pm T_1/2$）	内螺纹基准平面的极限偏差（$\pm T_2/2$）
1	0.7	1.2
1.5	1	1.5
2	1.4	1.8
3	2	3

表 A-33　圆柱内螺纹的大径极限偏差

（单位：mm）

螺距 P	螺纹大径极限偏差
1	±0.045
1.5	±0.065
2	±0.085
3	±0.105

A. 5. 6 米制密封螺纹标记方法及示例

米制密封螺纹的完整标记由螺纹特征代号、尺寸代号和基准距离组别代号组成。

1）圆锥螺纹的特征代号为 Mc。

2）圆柱内螺纹的特征代号为 Mp。

3）基准距离组别代号：采用标准型基准距离时，可以省略基准距离组别代号（N）；采用短型基准距离时，标注组别代号“S”，中间用“ - ”分开。

4）对左旋螺纹，应在基准距离组别代号后标注“LH”，右旋螺纹不标注旋向代号。

示例：

公称直径为 12mm、螺距为 1mm、标准型基准距离的右旋圆锥管螺纹：Mc12 ×1。

公称直径为 20mm、螺距为 1. 5mm、短型基准距离的右旋圆锥管螺纹：Mc20 ×1. 5 – S。

公称直径为 42mm、螺距为 2mm、短型基准距离的左旋圆柱内螺纹：Mp42 ×2 – S – LH。

与圆锥外螺纹配合的圆柱内螺纹采用米制普通螺纹，其牙型、基本尺寸、公差同米制普通螺纹。

A. 6 英制惠氏螺纹

A. 6. 1 牙型

英制惠氏螺纹的设计牙型如图 A- 19 所示。

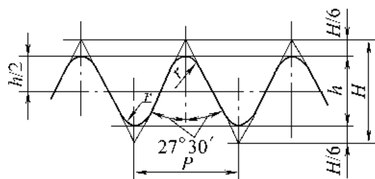


图 A-19　英制惠氏螺纹的设计牙型

$$H = 0.960491P \quad h = 0.640327P$$

$$\frac{H}{6} = 0.160082P \quad r = 0.137329P$$

A.6.2　英制惠氏螺纹的标准系列（表 A-34）

表 A-34　英制惠氏螺纹的标准系列

公称直径 /in	牙数		公称直径 /in	牙数	
	粗牙（B.S.W.）	细牙（B.S.F.）		粗牙（B.S.W.）	细牙（B.S.F.）
1/8	（40）	—	3/8	16	20
3/16	24	（32）	7/16	14	18
7/32	—	（28）	1/2	12	16
1/4	20	26	9/16	（12）	16
9/32	—	（26）	5/8	11	14
5/16	18	22	11/16	（11）	（14）

（续）

公称直径/in	牙数		公称直径/in	牙数	
	粗牙（B. S. W.）	细牙（B. S. F.）		粗牙（B. S. W.）	细牙（B. S. F.）
3/4	10	12	$2\frac{3}{4}$	3.5	6
7/8	9	11	3	3.5	5
1	8	10	$3\frac{1}{4}$	（3.25）	5
$1\frac{1}{8}$	7	9	$3\frac{1}{2}$	3.25	4.5
$1\frac{1}{4}$	7	9	$3\frac{3}{4}$	（3）	4.5
$1\frac{3}{8}$	—	（8）	4	3	4.5
$1\frac{1}{2}$	6	8	$4\frac{1}{4}$	—	4
$1\frac{5}{8}$	—	（8）	$4\frac{1}{2}$	2.875	—
$1\frac{3}{4}$	5	7	5	2.75	—
2	4.5	7	$5\frac{1}{2}$	2.625	—
$2\frac{1}{4}$	4	6	6	2.5	—
$2\frac{1}{2}$	4	6			

注：优先选用不带括号的牙数。

A.6.3　基本尺寸

惠氏粗牙螺纹和细牙螺纹基本尺寸分别见表 A-35 和表 A-36。特殊系列惠氏螺纹基本尺寸按下列公式计算：

$$D_2 = d_2 = D - 0.640327P$$

$$D_1 = d_1 = D - 1.280654P$$

表 A-35　惠氏粗牙螺纹（B. S. W. ）的基本尺寸

（单位：in）

公称直径	牙数	螺距	牙高	大径	中径	小径
1/8	40	0.02500	0.0160	0.1250	0.1090	0.0930
3/16	24	0.04167	0.0267	0.1875	0.1608	0.1341
1/4	20	0.05000	0.0320	0.2500	0.2180	0.1860
5/16	18	0.05556	0.0356	0.3125	0.2769	0.2413
3/8	16	0.06250	0.0400	0.3750	0.3350	0.2950
7/16	14	0.07143	0.0457	0.4375	0.3918	0.3461
1/2	12	0.08333	0.0534	0.5000	0.4466	0.3932
9/16	12	0.08333	0.0534	0.5625	0.5091	0.4557
5/8	11	0.09091	0.0582	0.6250	0.5668	0.5086
11/16	11	0.09091	0.0582	0.6875	0.6293	0.5711
3/4	10	0.10000	0.0640	0.7500	0.6860	0.6220
7/8	9	0.11111	0.0711	0.8750	0.8039	0.7328
1	8	0.12500	0.0800	1.0000	0.9200	0.8400
1⅛	7	0.14286	0.0915	1.1250	1.0335	0.9420
1¼	7	0.14286	0.0915	1.2500	1.1585	1.0670
1½	6	0.16667	0.1067	1.5000	1.3933	1.2866
1¾	5	0.20000	0.1281	1.7500	1.6219	1.4938
2	4.5	0.22222	0.1423	2.0000	1.8577	1.7154
2¼	4	0.25000	0.1601	2.2500	2.0899	1.9298
2½	4	0.25000	0.1601	2.5000	2.3399	2.1798
2¾	3.5	0.28571	0.1830	2.7500	2.5670	2.3840

（续）

公称直径	牙数	螺距	牙高	大径	中径	小径
3	3.5	0.28571	0.1830	3.0000	2.8170	2.6340
3¼	3.25	0.30769	0.1970	3.2500	3.0530	2.8560
3½	3.25	0.30769	0.1970	3.5000	3.3030	3.1060
3¾	3	0.33333	0.2134	3.7500	3.5366	3.3232
4	3	0.33333	0.2134	4.0000	3.7866	3.5732
4½	2.875	0.34783	0.2227	4.5000	4.2773	4.0546
5	2.75	0.36364	0.2328	5.0000	4.7672	4.5344
5½	2.625	0.38095	0.2439	5.5000	5.2561	5.0122
6	2.5	0.40000	0.2561	6.0000	5.7439	5.4878

表 A-36　惠氏细牙螺纹（B. S. F.）的基本尺寸

（单位：in）

公称直径	牙数	螺距	牙高	大径	中径	小径
3/16	32	0.03125	0.0200	0.1875	0.1675	0.1475
7/32	28	0.03571	0.0229	0.2188	0.1959	0.1730
1/4	26	0.03846	0.0246	0.2500	0.2254	0.2008
9/32	26	0.03846	0.0246	0.2812	0.2566	0.2320
5/16	22	0.04545	0.0291	0.3125	0.2834	0.2543
3/8	20	0.05000	0.0320	0.3750	0.3430	0.3110
7/16	18	0.05556	0.0356	0.4375	0.4019	0.3663
1/2	16	0.06250	0.0400	0.5000	0.4600	0.4200
9/16	16	0.06250	0.0400	0.5625	0.5225	0.4825
5/8	14	0.07143	0.0457	0.6250	0.5793	0.5336

（续）

公称直径	牙数	螺距	牙高	大径	中径	小径
11/16	14	0.07143	0.0457	0.6875	0.6418	0.5961
3/4	12	0.08333	0.0534	0.7500	0.6966	0.6432
7/8	11	0.09091	0.0582	0.8750	0.8168	0.7586
1	10	0.10000	0.0640	1.0000	0.9360	0.8720
1⅛	9	0.11111	0.0711	1.1250	1.0539	0.9828
1¼	9	0.11111	0.0711	1.2500	1.1789	1.1078
1⅜	8	0.12500	0.0800	1.3750	1.2950	1.2150
1½	8	0.12500	0.0800	1.5000	1.4200	1.3400
1⅝	8	0.12500	0.0800	1.6250	1.5450	1.4650
1¾	7	0.14286	0.0915	1.7500	1.6585	1.5670
2	7	0.14286	0.0915	2.0000	1.9085	1.8170
2¼	6	0.16667	0.1067	2.2500	2.1433	2.0366
2½	6	0.16667	0.1067	2.5000	2.3933	2.2866
2¾	6	0.16667	0.1067	2.7500	2.6433	2.5366
3	5	0.20000	0.1281	3.0000	2.8719	2.7438
3¼	5	0.20000	0.1281	3.2500	3.1219	2.9938

附录 B　常用齿轮基本参数及计算

B.1　渐开线圆柱齿轮

B.1.1　基本齿廓、代号及模数

当渐开线圆柱齿轮的基圆无穷增大时，齿轮将变成齿条，渐开线齿廓将逼近直线形齿廓，这一点成为统一齿廓的基础。基本齿廓标准不仅要统一齿形角，还要统一齿廓各部分的几何尺寸。

GB/T 1356—2001《通用机械和重型机械用圆柱齿轮 标准基本齿条齿廓》，规定了通用机械和重型机械用渐

开线圆柱齿轮（外齿或内齿）的标准基本齿条齿廓的特性，适用于 GB/T 1357—2008 规定的标准模数。

1. 标准基本齿条齿廓的特性（表 B-1）。

表 B-1　标准基本齿条齿廓

1—标准基本齿条齿廓　2—基准线　3—齿顶线
4—齿根线　5—相啮标准基本齿条齿廓

标准基本齿条比例

几何参数	α_P	h_{aP}	c_P	h_{fP}	ρ_{fP}
标准基本齿条值	20°	$1m$	$0.25m$	$1.25m$	$0.38m$

基本齿条齿廓

基本齿条齿廓类型	几何参数					推荐使用场合
	α_P	h_{aP}	c_P	h_{fP}	ρ_{fP}	
A	20°	$1m$	$0.25m$	$1.25m$	$0.38m$	用于传递大转矩的齿轮

（续）

基本齿条齿廓						
基本齿条齿廓类型	几何参数					推荐使用场合
	α_P	h_{aP}	c_P	h_{fP}	ρ_{fP}	
B	20°	$1m$	$0.25m$	$1.25m$	$0.3m$	用于通常的场合，用标准滚刀加工时，可用 C 型
C	20°	$1m$	$0.25m$	$1.25m$	$0.25m$	
D	20°	$1m$	$0.4m$	$1.4m$	$0.39m$	齿根圆角为单圆弧齿根圆角。用于高精度、传递大转矩齿轮

2. 代号和单位（表 B-2）

表 B-2　代号和单位

符号	意　　义	单位
c_P	标准基本齿条轮齿与相啮标准基本齿条轮齿之间的顶隙	mm
e_P	标准基本齿条轮齿齿槽宽	mm
h_{aP}	标准基本齿条轮齿齿顶高	mm
h_{fP}	标准基本齿条轮齿齿根高	mm
h_{FfP}	标准基本齿条轮齿齿根直线部分的高度	mm
h_P	标准基本齿条的齿高	mm

（续）

符号	意　　义	单位
h_{wP}	标准基本齿条和相啮标准基本齿条轮齿的有效齿高	mm
m	模数	mm
p	齿距	mm
s_P	标准基本齿条轮齿的齿厚	mm
α_P	压力角	（°）
ρ_{fP}	基本齿条的齿根圆角半径	mm

3. 渐开线圆柱齿轮模数（表 B-3）

表 B-3　渐开线圆柱齿轮模数（GB/T 1357—2008）

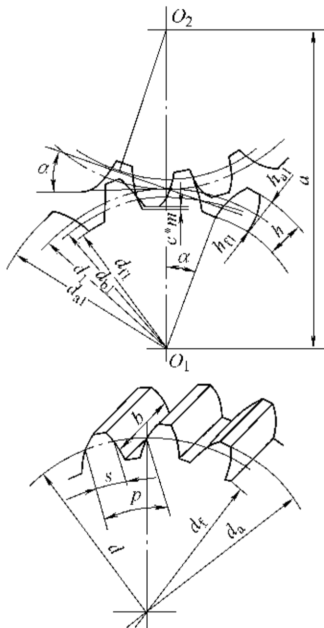
第一系列	1	1.25	1.5	2	2.5	3		
	4	5	6	8	10	12	16	20
	25	32	40	50				
第二系列	1.125	1.375	1.75	2.25	2.75	3.5		
	4.5	5.5	（6.5）	7	9	11		
	14	18	22	28	36	45		

注：1. 对于渐开线圆柱斜齿轮是指法向模数。
　　2. 优先选用第一系列，括号内的模数尽可能不用。

B.1.2　圆柱齿轮的几何尺寸计算

1. 外啮合标准圆柱齿轮几何尺寸计算（表 B-4）

表 B-4　外啮合标准圆柱齿轮几何尺寸计算



（续）

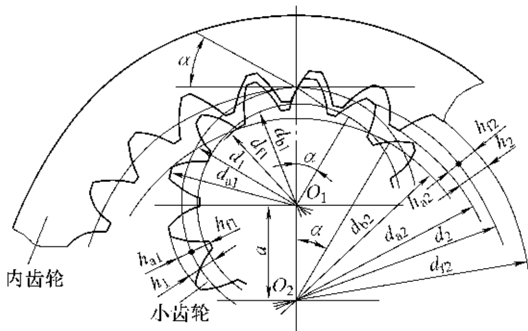
直　齿　轮				
项目	名称	代号	计算公式	说明
基本参数	模数	m	—	按规定选取
	齿数	z	—	按传动要求确定
	压力角	α	$\alpha = 20°$	—
	齿顶高系数	h_a^*	$h_a^* = 1$	—
	顶隙系数	c^*	$c^* = 0.25$	—
几何尺寸	分度圆直径	d	$d = mz$	—
	齿顶高	h_a	$h_a = h_a^* m = m$	—
	齿根高	h_f	$h_f = (h_a^* + c^*) m = 1.25m$	—
	全齿高	h	$h = h_a + h_f = 2.25m$	—
	齿顶圆直径	d_a	$d_a = d + 2h_a = m(z + 2)$	—
	齿根圆直径	d_f	$d_f = d - 2h_f = m(z - 2.5)$	—
	齿距	p	$p = \pi m$	—
	齿厚	s	$s = \frac{p}{2} = \frac{\pi m}{2}$	—
	齿宽	b	b	齿的轴向长度
	中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$	—

（续）

斜齿轮				
项目	名称	代号	计算公式	说明
基本参数	模数	m	$m_n = m_t \cos\beta$ m_t—端面模数 m_n—法面模数	按规定选取
	齿数	z	—	按传动要求确定
	压力角	α	$\alpha_n = 20°$	—
	分度圆螺旋角	β	—	常在8°~20°内选择
	齿顶高系数	h_a^*	$h_{an}^* = 1$	—
	顶隙系数	c^*	$c_n^* = 0.25$	—
几何尺寸	分度圆直径	d	$d = \frac{m_n z}{\cos\beta}$	—
	齿顶高	h_a	$h_a = h_{an}^* m_n = m_n$	—
	齿根高	h_f	$h_f = (h_{an}^* + c_n^*)$ $m_n = 1.25m_n$	—
	全齿高	h	$h = h_a + h_f = 2.25m_n$	—
	齿顶圆直径	d_a	$d_a = d + 2h_a$	—
	齿根圆直径	d_f	$d_f = d - 2h_f$	—
	齿距	p	$p = \pi m_n$	—
	齿厚	s	$s_n = \frac{p_n}{2} = \frac{\pi m_n}{2}$	—
	齿宽	b	b	齿的轴向长度
	中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_n(z_1 + z_2)}{2\cos\beta}$	—

2. 内啮合标准圆柱齿轮几何尺寸计算（表 B-5）

表 B-5　内啮合标准圆柱齿轮几何尺寸计算



项目	名称	代号	计算公式	说明
基本参数	模数	m	—	按规定选取
	齿数	z	一般取 $z_2 - z_1 > 10$	按传动要求确定
	分度圆压力角	α	$\alpha = 20°$	—
	齿顶高系数	h_a^*	$h_a^* = 1$	—
	顶隙系数	c^*	$c^* = 0.25$	—

（续）

项目	名称	代号	计算公式	说明
几何尺寸	分度圆直径	d	$d = z_2 m$	—
	基圆直径	d_b	$d_b = d\cos\alpha$	—
	齿顶圆直径	d_a	$d_a = d - 2h_a^* m + \Delta d_a$ $\Delta d_a = \dfrac{2h_a^* m}{z\tan^2\alpha}$ 当 $h_a^* = 1$，$\alpha = 20°$ 时 $\Delta d_a = \dfrac{15.1m}{z}$	—
	齿根圆直径	d_f	$d_f = d + 2(h_a^* + c^*)m$	—
	全齿高	h	$h = \dfrac{1}{2}(d_f - d_a)$	—
	中心距	a	$a = \dfrac{1}{2}(z_2 - z_1)m$	—

B. 1. 3　精度等级及其选择

1. 精度等级

渐开线圆柱齿轮精度标准（GB/T 10095. 1 ~2—2008）中共有 13 个精度等级，用数字 0 ~ 12 按由高到低的顺序排列，0 级精度最高，12 级精度最低。

0 ~2 级是有待发展的精度等级，齿轮各项偏差的允许值很小，目前我国只有少数企业能制造和检验测量 2 级精度的齿轮。通常，将 3 ~5 级精度称为高精度，将 6 ~8 级称为中等精度，而将 9 ~12 级称为低精度。

径向综合偏差的精度等级由 F''_i、f''_i的 9 个等级组成，

其中 4 级精度最高，12 级精度最低。

齿轮精度等级见表 B-6。齿轮各项偏差代号名称见表 B-7。

表 B-6 齿轮精度等级

标准	偏差项目	精度等级												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GB/T 10095.1	f_{pt}、F_{pk}、F_p、F_α、F_β、F'_i、f'_i	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
GB/T 10095.2	F_r	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	F''_i、f''_i					—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 B-7 齿轮各项偏差代号名称

代号	名　　称
f_{pt}	单个齿距偏差
F_{pk}	齿距累积偏差
F_p	齿距累积总偏差
F_α	齿廓总偏差
F_β	螺旋线总偏差
F'_i	切向综合总偏差
f'_i	一齿切向综合偏差
F_r	径向圆跳动公差
F''_i	径向综合总偏差
f''_i	一齿径向综合偏差

2. 精度等级的选择

1）在给定的技术文件中，如果所要求的齿轮精度规定为 GB/T 10095.1 的某级精度而无其他规定时，则齿距偏差（f_{pt}、F_{pk}、F_{p}）、齿廓偏差（F_{α}）、螺旋线偏差（F_{β}）的允许值均按该精度等级。

2）GB/T 10095.1 规定，可按供需双方协议对工作齿面和非工作齿面规定不同的精度等级，或对不同的偏差项目规定不同的精度等级。另外，也可仅对工作齿面规定所要求的精度等级。

3）径向综合偏差精度等级，不一定与 GB/T 10095.1 中的要素偏差（如齿距、齿廓、螺旋线）选用相同的等级。当文件需斜述齿轮精度要求时，应注明 GB/T 10095.1 或 GB/T 10095.2。

4）选择齿轮精度等级时，必须根据其用途、工作条件等要求来确定，即必须考虑齿轮的工作速度、传递功率、工作的持续时间、机械振动、噪声和使用寿命等方面的要求。齿轮精度等级可用计算法确定，但目前企业界主要是采用经验法（或表格法）。各类机器传动中所应用的齿轮精度等级见表 B-8。

表 B-8　各类机器传动中所应用的齿轮精度等级

产品类型	精度等级	产品类型	精度等级
测量齿轮	2 ~ 5	内燃机床	6 ~ 7
透平齿轮	3 ~ 6	汽车底盘	5 ~ 8
金属切削机床	3 ~ 8	轻型载货汽车	5 ~ 8

（续）

产品类型	精度等级	产品类型	精度等级
载货汽车	6～9	轧钢机	6～10
航空发动机	4～8	矿用绞车	8～10
拖拉机	6～9	起重机械	7～10
通用减速器	6～9	农业机械	8～11

B. 1. 4　齿坯公差

齿坯是指在轮齿加工前供制造齿轮用的工件。齿坯的尺寸偏差直接影响齿轮的加工精度，影响齿轮副的接触和运行。

1. 基准面的形状公差

1）基准面的要求精度取决于：

① 齿轮精度等级。基准面的极限值应远小于单个轮齿的公差值。

② 基准面的相对位置，一般地说，跨距占轮齿分度圆直径的比例越大，则给定的公差就越大。

2）必须在齿轮图样上规定基准面的精度要求。所有基准面的形状公差应不大于表 B-9 中的规定值。

3）基准面（轴向和径向）应加工得与齿轮坯的实际轴孔、轴颈和肩部完全同心。

2. 工作及制造安装面的形状公差

工作及制造安装面的形状公差，也不能大于表 B-9 中的规定值。

表 B-9　基准面与安装面的形状公差

确定轴线的基准面	公差项目		
	圆度	圆柱度	平面度
两个“短的”圆柱或圆锥形基准面	$0.04(L/b)F_\beta$ 或 $0.1F_p$ 取两者中的小值	—	—
一个“长的”圆柱或圆锥形基准面	—	$0.04(L/b)F_\beta$ 或 $0.1F_p$ 取两者中的小值	—
一个“短的”圆柱面和一个端面	$0.06F_p$	—	$0.06(D_d/b)F_\beta$

注：1. L—轴承跨距；b—齿宽；F_β—螺旋线总偏差；F_p—齿距累积总偏差；D_d—基准面直径。

2. 齿轮坯公差应减至能经济地制造的最小值。

3. 工作轴线的跳动公差

当基准轴线与工作轴线不重合时，则工作安装面相对于基准轴线的跳动必须在图样上予以规定，跳动公差不应大于表 B-10 中的规定值。

表 B-10　安装面的跳动公差

确定轴线的基准面	跳动量（总的指示幅度）	
	径向	轴向
仅指圆柱或圆锥形基准面	$0.15(L/b)F_{\beta}$ 或 $0.3F_{p}$ 取两者中较大值	—
一个圆柱基准面和一个端面基准面	$0.3F_{p}$	$0.2(D_{d}/b)F_{\beta}$

注：齿轮坯的公差应减至能经济地制造的最小值。

4. 齿轮切削和检验时使用的安装面

齿轮在制造和检验过程中，安装齿轮时应使其旋转的实际轴线与图样上规定的基准轴线重合。

除非在制造和检验中用来安装齿轮的安装面就是基准面，否则这些安装面相对于基准轴线的位置也必须予以控制。

5. 齿顶圆柱面

设计者应对齿顶圆直径选择合适的公差，以保证有最小限度的设计重合度，并且有足够的齿顶间隙。如果将齿顶圆柱面作为基准面，除了上述数值仍可用作尺寸公差外，其形状公差不应大于表 B-9 中所规定的相关数值。

6. 其他齿轮的安装面

在一个与小齿轮做成一体的轴上，常有一段用来安装一个大齿轮。这时，大齿轮安装面的公差应在妥善考虑大齿轮的质量要求后来选择。常用的办法是相对于已经确定

的基准轴线规定允许的跳动量。

7. 齿坯公差应用示例（图 B-1、图 B-2）

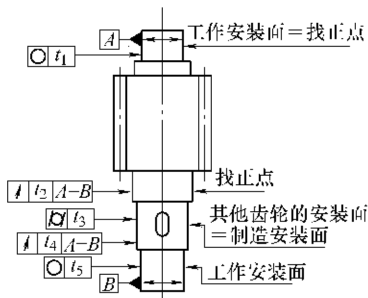


图 B-1　齿轮轴

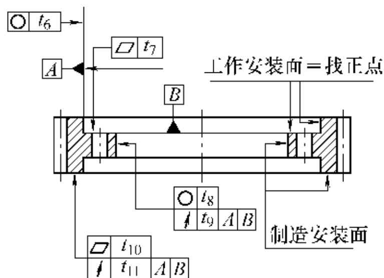


图 B-2　齿圈

B.2 齿条

B.2.1 齿条的几何尺寸计算（表 B-11）

表 B-11 齿条的几何尺寸计算

项目	名称	代号	计算公式
基本参数	模数	m	
	压力角	α	$\alpha=20°$
	齿顶高系数	h_a^*	$h_a^*=1$
	顶隙系数	c^*	$c^*=0.25$
	齿条齿根圆半径	ρ_f	$\rho_f=0.38m$
几何尺寸	齿距	p	$p=\pi m$
	齿厚	s	$s=1.5708m$
	齿顶高	h_a	$h_a=h_a^* m$
	齿根高	h_f	$h_f=(h_a^*+c^*)m$
	齿全高	h	$h=h_a+h_f$

B.2.2 齿条精度（GB/T 10096—1988）

GB/T 10096—1988 对基本齿廓符号 GB/T 1356—2001 规定的齿条及由直齿或斜齿圆柱齿轮与齿条组成的齿条副规定了误差定义、代号、精度等级、检验与公差、侧隙和图样标注等，对法向模数 $m_n \geqslant 1$ ~40mm、工作齿宽到 630mm 的齿条规定了公差或极限偏差值。

1. 精度等级、公差组及其组合

（1）精度等级　标准对齿条及齿条副规定 12 个精度等级，第 1 级精度等级最高，第 12 级精度等级最低。

（2）公差组　按照各项误差项目的特性和对传动性

能的主要影响，标准将各项公差划分为三个公差组（表 B-12）。

表 B-12　公　差　组

公差组	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
公差与极限偏差项目	F'_i、F_p、F''_i、F_r	f'_i、f''_i、f_f、$\pm f_{pt}$	F_β

（3）公差组合　根据不同的使用要求，允许各公差组选用不同的精度等级。但在同一公差组内，各项公差与极限偏差应保持相同的精度等级。

（4）齿条各项偏差代号和名称（表 B-13）

表 B-13　齿条各项偏差代号和名称

代号	名　　称	代号	名　　称
F'_i	切向综合公差	f''_i	一齿径向综合公差
F_p	齿距累积公差	f_f	齿形公差
F''_i	径向综合公差	$\pm f_{Pt}$	齿距极限偏差
F_r	齿槽跳动公差	F_β	齿向公差
f'_i	一齿切向综合公差		

2. 齿厚极限偏差

齿厚极限偏差的上极限偏差 E_{ss} 及下极限偏差 E_{si} 可按表 B-14 选用。

例如：上极限偏差选用代号 F（等于 $-4f_{pt}$），下极限偏差选用代号 L（等于 $-16f_{pt}$），则齿厚极限偏差用代号

FL 表示，如图 B-3 所示。

表 B-14　齿厚极限偏差

C = $+1f_{pt}$	G = $-6f_{pt}$	L = $-16f_{pt}$	R = $-40f_{pt}$
D = 0	H = $-8f_{pt}$	M = $-20f_{pt}$	S = $-50f_{pt}$
E = $-2f_{pt}$	J = $-10f_{pt}$	N = $-25f_{pt}$	
F = $-4f_{pt}$	K = $-12f_{pt}$	P = $-32f_{pt}$	

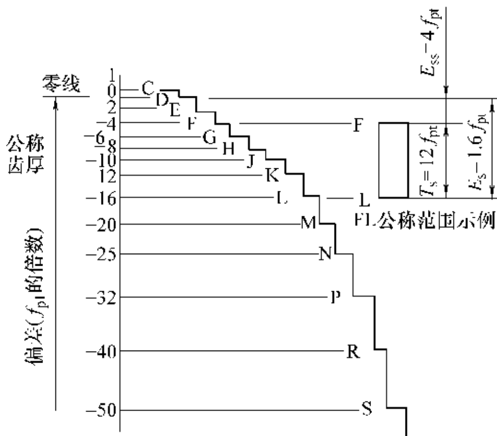
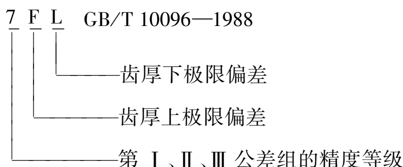


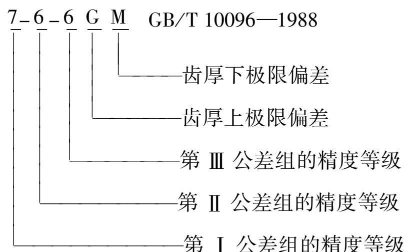
图 B-3　齿厚极限偏差代号

3. 标记示例

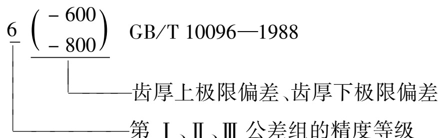
1）齿条的三个公差组精度为 7 级，其齿厚上极限偏差为 F，下极限偏差为 L，标注为：



2）齿条第Ⅰ公差组精度为 7 级，第Ⅱ公差组精度为 6 级，第Ⅲ公差组精度为 6 级，齿厚上极限偏差为 G，齿厚下极限偏差为 M，标注为：



3）齿条的三个公差组精度同为 6 级，其齿厚上极限偏差为 -600μm，下极限偏差为 -800μm，标注为：



B. 3　锥齿轮

B. 3. 1　锥齿轮基本齿廓尺寸参数

GB/T 12369—1990《直齿及斜齿锥齿轮基本齿廓》，

对大端端面模数 $m \geqslant 1$mm 的直齿及斜齿锥齿轮规定了其基本齿廓的形状和尺寸参数，见表 B-15。

表 B-15　锥齿轮基本齿廓尺寸参数

图　　示

尺寸参数

齿形角 α	20° 14°30′（根据需要采用） 25°（根据需要采用）
齿顶高 h_a	$1m_n$
工作高度 h'	$2m_n$
齿距 p	$\pi m_n / \cos\beta$（在大端端面基准面上）
顶隙 c	$0.2m_n$
齿根圆角半径 r_f	$0.3m_n$ $\geqslant 0.35m_n$（在啮合允许时）

注：齿廓可以修缘，原则上在齿顶修缘，齿高方向最大值为 $0.6m_n$，齿厚方向最大值为 $0.02m_n$。

B.3.2　模数

GB/T 12368—1990《锥齿轮模数》，对直齿、斜齿及曲线齿（齿线为圆弧线、长幅外摆线及准渐开线等）、锥齿轮，规定了模数系列，见表 B-16。锥齿轮模数是指大

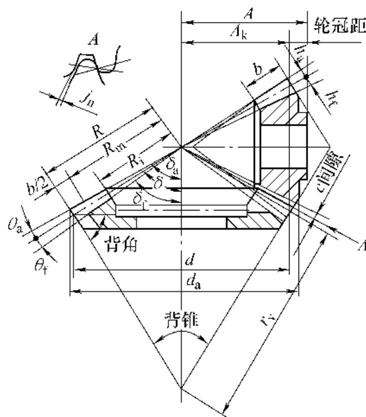
端端面模数，代号为 m，单位为 mm。

表 B-16　锥齿轮模数　　　（单位：mm）

锥齿轮模数	0.1，0.12，0.15，0.2，0.25，0.3，0.35，0.4，0.5，0.6，0.7，0.8，0.9，1，1.125，1.25，1.375，1.5，1.75，2，2.25，2.5，2.75，3，3.25，3.5，3.75，4，4.5，5，5.5，6，6.5，7，8，9，10，11，12，14，16，18，20，22，25，28，30，32，36，40，45，50

B.3.3　直齿锥齿轮几何尺寸计算（表 B-17）

表 B-17　直齿锥齿轮几何尺寸计算　（单位：mm）



R—外锥距　R_i—内锥距　R_m—中点锥距　r_v—背锥距
A—安装距　A_k—冠顶距　A-A_k—轮冠距　b—齿宽
h_a—齿顶高　h_f—齿根高　θ_a—齿顶角　θ_f—齿根角
d_a—齿顶圆直径　d—分度圆直径　δ_a—顶圆锥角
δ—分锥角　δ_f—根锥角

（续）

名称	代号	计算公式	
		小齿轮	大齿轮
模数	m	大端模数 $m = d_1/z_1 = d_2/z_2$	
齿数	z	z_1	z_2
轴交角	Σ	根据结构要求设计确定	
分锥角	δ	$\Sigma = 90°$时 $\delta_1 = \arctan \dfrac{z_1}{z_2}$	$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$
		$\Sigma < 90°$时 $\delta_1 = \arctan \dfrac{\sin\Sigma}{\dfrac{z_2}{z_1} + \cos\Sigma}$	$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$
		$\Sigma > 90°$时 $\delta_1 = \arctan \dfrac{\sin(180° - \Sigma)}{\dfrac{z_2}{z_1} - \cos(180° - \Sigma)}$	$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$
分度圆直径	d	$d_1 = mz_1$	$d_2 = mz_2$
外锥距	R	$R = \dfrac{d_1}{2\sin\delta_1}$ 当 $\Sigma = 90°$时，$R = \dfrac{d_1}{2\sin\delta_1} = \dfrac{m}{2}\sqrt{z_1^2 + z_2^2}$	

（续）

名称	代号	计算公式	
		小齿轮	大齿轮
齿宽	b	$\frac{R}{3} \geqslant b \leqslant 10m$	
齿顶高	h_a	m	
齿根高	h_f	$1.2m$	
全齿高	h	$2.2m$	
大端齿顶圆直径	d_a	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}\cos\delta_1$	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}\cos\delta_2$
齿根角	θ_f	$\theta_{f1} = \arctan\frac{h_{f1}}{R}$	$\theta_{f2} = \arctan\frac{h_{f2}}{R}$
齿顶角	θ_a	等齿顶间隙收缩齿	
		$\theta_{a1} = \theta_{f2} = \arctan\frac{h_{f2}}{R}$	$\theta_{a2} = \theta_{f1} = \arctan\frac{h_{f1}}{R}$
		不等齿顶间隙收缩齿	
		$\theta_{a1} = \arctan\frac{h_{a1}}{R}$	$\theta_{a2} = \arctan\frac{h_{a2}}{R}$
顶圆锥角	δ_a	等齿顶间隙收缩齿	
		$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{f2}$	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{f1}$
		不等齿顶间隙收缩齿	
		$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$

（续）

名称	代号	计算公式	
		小齿轮	大齿轮
根圆锥角	δ_f	$\delta_{f1}=\delta_1-\theta_{f1}$	$\delta_{f2}=\delta_2-\theta_{f2}$
冠顶距	A_k	$\Sigma=90°$时	
		$A_{k1}=\dfrac{d_2}{2}-h_{a1}\sin\delta_1$	$A_{k2}=\dfrac{d_1}{2}-h_{a2}\sin\delta_2$
		$\Sigma\neq90°$时	
		$A_{k1}=R\cos\delta_1-h_{a1}\sin\delta_1$	$A_{k2}=R\cos\delta_2-h_{a2}\sin\delta_2$
大端分度圆弧齿厚	s	$s_1=\dfrac{\pi m}{2}$	$s_2=\dfrac{\pi m}{2}$
大端分度圆弦齿厚	$\bar{s}$	$\bar{s}_1=s_1-\dfrac{s_1^3}{6d_1^2}$	$\bar{s}_2=s_2-\dfrac{s_2^3}{6d_2^2}$
大端分度圆弦齿高	$\bar{h}$	$\bar{h}_{a1}=h_{a1}+\dfrac{s_1^2}{4d_1}\cos\delta_1$	$\bar{h}_{a2}=h_{a2}+\dfrac{s_2^2}{4d_2}\cos\delta_2$
齿角（刨齿机用）	λ	$\lambda_1\approx\dfrac{3438}{R}\times\left(\dfrac{s_1}{2}+h_{f1}\tan\alpha\right)$	$\lambda_2\approx\dfrac{3438}{R}\times\left(\dfrac{s_2}{2}+h_{f2}\tan\alpha\right)$

注：为提高精切齿的精度及精切刀寿命，粗切时可以沿齿宽上切深 0.05mm 的增量，即实际齿根高比计算的多0.05mm。

B. 3. 4　锥齿轮精度

锥齿轮精度标准 GB/T 11365—1989 适用于中点法向模数 $m_n \geqslant 1$mm 的直齿、斜齿、曲线齿锥齿轮和准双曲面齿轮。该标准对齿轮及齿轮副规定 12 个精度等级，并将齿轮和齿轮副的公差项目分成三个公差组。

根据使用要求，允许各公差组选用不同的精度等级。但对齿轮副中大、小齿轮的同一公差组，应规定同一精度等级。

1. 锥齿轮及齿轮副的公差组（表 B-18）

表 B-18　锥齿轮及齿轮副的公差组

公差组		公差与极限偏差项目
Ⅰ	齿轮	F'_i、$F''_{i\Sigma}$、F_p、F_{pk}、F_r
	齿轮副	F'_{ic}、$F''_{i\Sigma c}$、F_{vj}
Ⅱ	齿轮	f'_i、$f''_{i\Sigma}$、f'_{zk}、f_{pt}、f_c
	齿轮副	f'_{ic}、$f''_{i\Sigma c}$、f'_{zkc}、f'_{zzc}、f_{AM}
Ⅲ	齿轮	接触斑点
	齿轮副	接触斑点，f_a

2. 锥齿轮各项偏差代号和名称（表 B-19）

表 B-19　锥齿轮各项偏差代号和名称

代号	名　　称
F'_i	切向综合公差
$F''_{i\Sigma}$	轴交角综合公差
F_p	齿距累积公差
F_{pk}	k 个齿距累积公差

（续）

代号	名　　称
F_r	齿圈跳动公差
F'_{ic}	齿轮副切向综合公差
$F''_{i\Sigma c}$	齿轮副轴交角综合公差
F_{vj}	齿轮副侧隙变动公差
f'_i	一齿切向综合公差
$f''_{i\Sigma}$	一齿轴交角综合公差
f'_{zk}	周期误差的公差
$\pm f_{pt}$	齿距极限偏差
f_c	齿形相对误差的公差
f'_{ic}	齿轮副一齿切向综合公差
$f''_{i\Sigma c}$	齿轮副一齿轴交角综合公差
f'_{zkc}	齿轮副周期误差的公差
f'_{zzc}	齿轮副齿频周期误差的公差
$\pm f'_{AM}$	齿圈轴向位移极限偏差
$\pm f_a$	齿轮副轴间距极限偏差

3. 齿轮副侧隙

齿轮副的最小法向侧隙（j_{nmin}）种类为 6 种：a、b、c、d、e、h。法向侧隙公差种类为 5 种：A、B、C、D、H。推荐法向侧隙公差种类与最小法向侧隙种类的对应关系为：A—a，B—b，C—c，D—d，H—e 和 H—h，如图

B-4 所示。

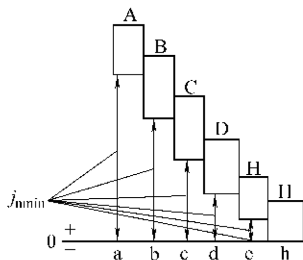


图 B-4　最小法向侧隙与法向侧隙公差的推荐关系

4. 齿轮精度标注示例

7 b　GB/T 11365

- b：最小法向侧隙种类为 b，法向侧隙公差种类为 B（B 省略）
- 7：三个公差组的精度等级同为 7 级

7－400 B　GB/T 11365

- B：法向侧隙公差种类为 B
- 400：最小法向侧隙数值为 400μm
- 7：三个公差组的精度等级同为 7 级



B.3.5　齿坯要求

齿坯质量直接影响切齿精度，同时影响检验数据的可靠性，还影响齿轮副的安装精度。所以齿轮的加工、检验和安装的定位基准面应尽量一致，并在齿轮图样上予以标注。齿坯各项公差和偏差见表 B-20 ~ 表 B-22。

表 B-20　齿坯尺寸公差

精度等级	4	5	6	7	8	9	10	11	12
轴径尺寸公差	IT4	IT5		IT6		IT7			
孔径尺寸公差	IT5	IT6		IT7		IT8			
外径尺寸极限偏差	0 – IT7	0 – IT8				0 – IT9			

表 B-21　齿坯顶锥母线跳动和基准轴向圆跳动公差

（单位：μm）

类别	大于	到	跳动公差	精度等级[①]			
				4	5～6	7～8	9～12
外径/mm	—	30	顶锥母线跳动公差	10	15	25	30
	30	50		12	20	30	60
	50	120		15	25	40	80
	120	250		20	30	50	100
	250	500		25	40	60	120
	500	800		30	50	80	150
	800	1250		40	60	100	200
	1250	2000		50	80	120	250
	2000	3150		60	100	150	300
	3150	5000		80	120	200	400
基准端面直径/mm	—	30	基准轴向圆跳动公差	4	6	10	15
	30	50		5	8	12	20
	50	120		6	10	15	25
	120	250		8	12	20	30
	250	500		10	15	25	40
	500	800		12	20	30	50
	800	1250		15	25	40	60
	1250	2000		20	30	50	80
	2000	3150		25	40	60	100
	3150	5000		30	50	80	120

① 当三个公差组精度等级不同时，按最高的精度等级确定公差值。

表 B-22　齿坯轮冠距和顶锥角极限偏差

中点法向模数/mm	轮冠距极限偏差/μm	顶锥角极限偏差/(′)
≤1.2	0 −50	+15 0
>1.2~10	0 −75	+8 0
>10	0 −100	+8 0

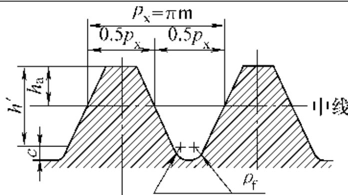
B.4　圆柱蜗杆和蜗轮

B.4.1　圆柱蜗杆的基本齿廓（GB/T 10087—1988）

GB/T 10087—1988 规定了圆柱蜗杆基本齿廓。本标准适用于模数 $m \geqslant 1$mm、轴交角 $\Sigma = 90°$ 的圆柱蜗杆传动，其基本蜗杆的类型为阿基米德蜗杆（ZA 蜗杆）、法向直廓蜗杆（ZN 蜗杆）、渐开线蜗杆（ZI 蜗杆）和锥面包络圆柱蜗杆（ZK 蜗杆）。

本标准规定的圆柱蜗杆的基本齿廓是指基本蜗杆在给定截面上的规定齿形。基本齿廓的尺寸参数在蜗杆的轴平面内规定（表 B-23）。

表 B-23　圆柱蜗杆基本齿廓

基本齿廓（在轴平面内）


（续）

参数名称		代号	数值	说　　明
齿顶高		h_a	$1m$	齿顶高系数 $h_a^* = 1$
工作齿高		h'	$2m$	在工作齿高部分的齿形是直线
轴向齿距		p_x	πm	中线上的齿厚和齿槽宽相等
顶隙		c	$0.2m$	顶隙系数 $c^* = 0.2$
齿根圆角半径		ρ_f	$0.3m$	
齿形角	ZA 蜗杆	α_x	20°	蜗杆的轴向齿形角
	ZN 蜗杆	α_n	20°	蜗杆的法向齿形角
	ZI 蜗杆	α_n	20°	蜗杆的法向齿形角
产形角	ZK 蜗杆	α_0	20°	为形成蜗杆齿面的锥形刀具的产形角

注：1. 圆柱蜗杆的基本齿廓是指基本蜗杆在给定截面上的规定齿形。基本蜗杆的类型推荐采用 ZI、ZK 蜗杆。

2. 采用短齿时，$h_a = 0.8m$，$h' = 1.6m$。

3. 顶隙 c 允许减小到 $0.15m$ 或增大至 $0.35m$。

4. 齿根圆角半径 ρ_f 允许减小到 $0.2m$ 或增大至 $0.4m$，也允许加工成单圆弧。

5. 允许齿顶倒圆，但圆角半径不大于 $0.2m$。

6. 在动力传动中，当导程角 $\gamma > 30°$ 时，允许增大齿形角，推荐采用 25°；在分度传动中，允许减小齿形角，推荐采用 15° 或 12°。

B. 4. 2　圆柱蜗杆的主要参数

1. 模数

蜗杆模数 m 是指蜗杆的轴向模数。通常应按表 B-24 规定的数值选取。应优先采用第一系列。

表 B-24　圆柱蜗杆模数 m（GB/T 10088—1988）

（单位：mm）

第一系列	0. 1，0. 12，0. 16，0. 2，0. 25，0. 3，0. 4，0. 5，0. 6，0. 8，1，1. 25，1. 6，2，2. 5，3. 15，4，5，6. 3，8，10，12. 5，16，20，25，31. 5，40
第二系列	0. 7，0. 9，1. 5，3，3. 5，4. 5，5. 5，6，7，12，14

2. 蜗杆分度圆直径 d_1

蜗杆分度圆直径 d_1 应按表 B-25 规定的数值选取。优先采用第一系列。

表 B-25　蜗杆分度圆直径 d_1（GB/T 10088—1988）

（单位：mm）

第一系列	4，4. 5，5，5. 6，6. 3，7. 1，8，9，10，11. 2，12. 5，14，16，18，20，22. 4，25，28，31. 5，35. 5，40，45，50，56，63，71，80，90，100，112，125，140，160，180，200，224，250，280，315，355，400
第二系列	6，7. 5，8. 5，15，30，38，48，53，60，67，75，85，95，106，118，132，144，170，190，300

3. 蜗杆分度圆上的导程角 γ（表 B-26）

表 B-26　蜗杆分度圆上的导程角 γ

z_1 \ q	14	13	12	11
1	4°05′08″	4°23′55″	4°45′49″	5°11′40″
2	8°07′48″	8°44′46″	9°27′44″	10°18′17″
3	12°05′41″	12°59′41″	14°02′10″	15°15′18″
4	15°56′43″	17°06′10″	18°26′06″	19°58′59″

z_1 \ q	10	9	8
1	5°42′38″	6°20′25″	7°07′30″
2	11°18′36″	12°31′44″	14°02′10″
3	16°41′57″	18°26′06″	20°33′22″
4	21°48′05″	23°57′45″	26°33′54″

注：z_1 蜗杆头数，q 为直径系数。

4. 蜗杆头数 z_1 与蜗轮齿数 z_2 的推荐值（表 B-27）

表 B-27　蜗杆头数 z_1 与蜗轮齿数 z_2 的推荐值

$i=\frac{z_2}{z_1}$	z_1	z_2
7～8	4	28～32
9～13	3～4	27～52
14～24	2～3	28～72
25～27	2～3	50～81
28～40	1～2	28～80
>40	1	>40

5. 中心距

一般圆柱蜗杆传动的减速装置的中心距 a 按表B-28选用。

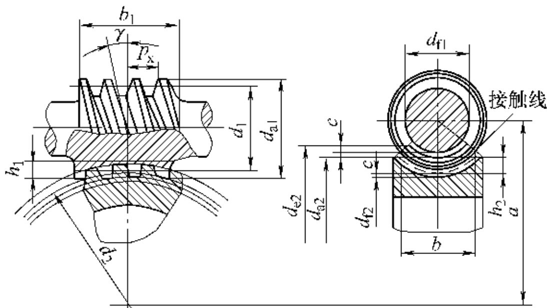
表 B-28　中心距

中心距 a/mm	40	50	63	80	100	125	160	(180)	200
	(225)	250	(280)	315	(355)	400	(450)	500	—

注：括号中的数值尽可能不用。

B. 4. 3　圆柱蜗杆传动几何尺寸计算（表 B-29）

表 B-29　圆柱蜗杆传动几何尺寸计算
（GB/T 10085—1988）（单位：mm）



（续）

名称	代号	关系式	说明
中心距	a	$a=(d_1+d_2+2x_2m)/2$	按规定选取
蜗杆头数	z_1		按规定选取
蜗轮齿数	z_2		按传动比确定
齿形角	α	$\alpha_x=20°$或$\alpha_n=20°$	按蜗杆类型确定
模数	m	$m=m_x=\dfrac{m_n}{\cos\gamma}$	按规定选取
传动比	i	$i=n_1/n_2$	蜗杆为主动，按规定选取
蜗轮变位系数	x_2	$x_2=\dfrac{a}{m}-\dfrac{d_1+d_2}{2m}$	正常蜗轮变位系数取零
蜗杆直径系数	q	$q=d_1/m$	
蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x=\pi m$	
蜗杆导程	p_z	$p_z=\pi m z_1$	

（续）

名称	代号	关系式	说明
蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = mq$	按规定选取
蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $= d_1 + 2h_a^* m$	$h_a^* = 1$
蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$ $= d_1 - 2(h_a^* m + c)$	
顶隙	c	$c = c^* m$	$c^* = 0.2$
渐开线蜗杆基圆直径	d_{b1}	$d_{b1} = d_1 \tan\gamma / \tan\gamma_b$ $= mz_1 / \tan\gamma_b$	
蜗杆齿顶高	h_{a1}	$h_{a1} = h_a^* m = \frac{1}{2}(d_{a1} - d_1)$	按规定
蜗杆齿根高	h_{f1}	$h_{f1} = (h_a^* + c^*)m$ $= \frac{1}{2}(d_1 - d_{f1})$	
蜗杆齿高	h_1	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$ $= \frac{1}{2}(d_{a1} - d_{f1})$	
蜗杆导程角	γ	$\tan\gamma = mz_1 / d_1 = z_1 / q$	

（续）

名称	代号	关系式	说明
渐开线蜗杆基圆导程角	γ_b	$\cos\gamma_b = \cos\gamma\cos\alpha_n$	
蜗杆齿宽	b_1		由设计确定
蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = mz_2$	
蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$	
蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$	
蜗轮齿顶高	h_{a2}	$h_{a2} = \frac{1}{2}(d_{a2} - d_2)$	
蜗轮齿根高	h_{f2}	$h_{f2} = \frac{1}{2}(d_2 - d_{f2})$	
蜗轮齿高	h_2	$h_2 = h_{a2} + h_{f2} = \frac{1}{2}(d_{a2} - d_{f2})$	

（续）

名称	代号	关系式	说明
蜗轮咽喉母圆半径	r_{g2}	$r_{g2}=a-\frac{1}{2}d_{a2}$	
蜗轮齿宽	b_2		由设计确定
蜗轮齿宽角	θ	$\theta=2\arcsin\left(\frac{b_2}{d_1}\right)$	
蜗杆轴向齿厚	s_x	$s_x=\frac{1}{2}\pi m$	
蜗杆法向齿厚	s_n	$s_n=s_x\cos\gamma$	
蜗轮齿厚	s_t	按蜗杆节圆处轴向齿槽宽 e'_x 确定	
蜗杆节圆直径	d'_1	$d'_1=d_1+2x_2m=m(q+2x_2)$	正常蜗轮 $x_2=0$
蜗轮节圆直径	d'_2	$d'_2=d_2$	

B. 4. 4　圆柱蜗杆、蜗轮精度

1. 公差组、精度等级及其选择

（1）公差组　按各误差项目对蜗杆传动使用要求的主要影响，将蜗杆、蜗轮及传动制造误差的公差（极限偏差）分为三个公差组，见表 B-30。

表 B-30　蜗杆、蜗轮及传动的公差组

（GB/T 10089—1988）

应用 / 公差组	蜗杆	蜗轮	传动副
Ⅰ	—	F'_i、F''_i、F_p、F_{pk}、F_r	F'_{ic}
Ⅱ	f_h、f_{hL}、f_{px}、f_{pxL}、f_r	f'_i、f''_i、f_{pt}	f'_{ic}
Ⅲ	f_{f1}	f_{f2}	接触斑点，f_a、f_Σ、f_x

（2）蜗杆、蜗轮各项偏差代号名称（表 B-31）

表 B-31　蜗杆、蜗轮各项偏差代号名称

代号	名　　称
F'_i	蜗轮切向综合公差
F''_i	蜗轮径向综合公差
F_p	蜗轮齿距累积公差
F_{pk}	蜗轮 k 个齿距累积公差
F_r	蜗轮齿圈径向圆跳动公差
F'_{ic}	蜗杆副的切向综合公差
f_h	蜗杆一转螺旋线公差

（续）

代号	名　　称
f_{hL}	螺杆螺旋线公差
$\pm f_{px}$	螺杆轴向齿距极限偏差
f_{pxL}	螺杆轴向齿距累积公差
f_r	蜗杆齿槽径向圆跳动公差
f'_i	蜗轮一齿切向综合公差
f''_i	蜗轮一齿径向综合公差
$\pm f_{pt}$	蜗轮齿距极限偏差
f'_{ic}	蜗杆副的一齿切向综合公差
f_{f1}	蜗杆齿形公差
f_{f2}	蜗轮齿形公差
$\pm f_a$	蜗杆副的中心距极限偏差
$\pm f_{\Sigma}$	蜗杆副的轴交角极限偏差
$\pm f_x$	蜗杆副的中间平面极限偏差

（3）精度等级的选择　蜗杆、蜗轮和蜗杆传动共分为 12 个等级。第 1 级的精度最高，第 12 级的精度最低。

根据使用要求，允许各公差组选用不同的精度等级。蜗杆和配对蜗轮的精度等级一般取成相同，也允许取成不相同。对有特殊要求的蜗杆传动，除 F_r、F''_i、f''_i、f_r 项目外，其蜗杆、蜗轮左右齿面的精度等级也可取成不相同。常用的精度等级范围见表 B-32。

表 B-32　常用的精度等级范围

序号	用　　途	精度等级范围
1	测量蜗杆	1～5
2	分度蜗轮母机的分度传动	1～3
3	齿轮机床的分度转动	3～5
4	高精度分度装置	1～4
5	一般分度装置	3～5
6	机床进给、操纵机构	5～8
7	化工机械调速传动	5～8
8	冶金机械升降机构	5～7
9	起重运输机械、电梯的曳引装置	6～9
10	通用减速器	6～8
11	纺织机械传动装置	6～8
12	舞台升降装置	9～12
13	煤气发生炉调速装置	9～12
14	塑料蜗杆、蜗轮	9～12

2. 侧隙种类及选择

蜗杆传动有八种侧隙，按最小法向侧隙值由大到小的顺序，分别用字母代号 a、b、c、d、e、f、g、h 表示，如图 B-5 所示。各种侧隙的最小极限值见表 B-33。

八种侧隙种类的侧隙规范值是蜗杆传动在 20°时的情况下确定的，未计入传动发热和传动弹性变形的影响。

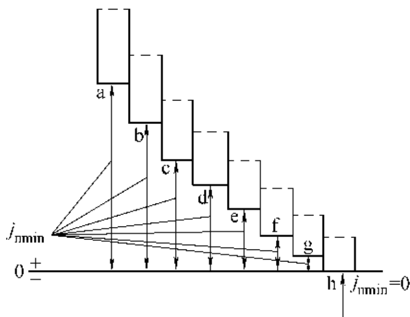


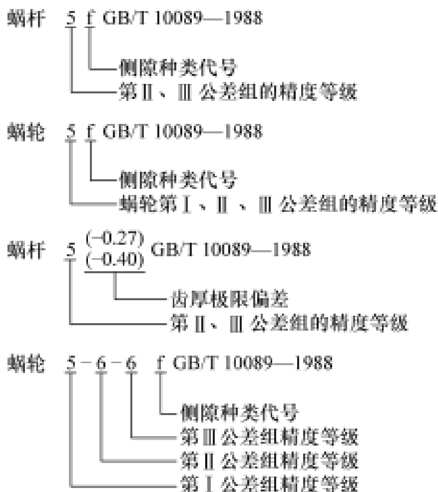
图 B-5　蜗杆传动最小法向侧隙

侧隙种类与传动精度等级无关，但侧隙值的大小则受制造误差的影响。在选择侧隙种类时须考虑同运动精度（第Ⅰ公差组）等级的对应关系，见表 B-33。

表 B-33　侧隙种类与适用的精度等级

侧隙种类	h	g	f	e	d	c	b	a
第Ⅰ公差组精度等级	1 ~ 6	1 ~ 6	1 ~ 7	3 ~ 8	3 ~ 9	3 ~ 10	3 ~ 12	5 ~ 12

3. 标注示例



若上例中齿厚极限偏差为非标准值，如上极限偏差为 +0.10mm，下极限偏差为 −0.10mm，则标注为：

5−6−6（±0.10） GB/T 10089—1988

若蜗轮齿厚无公差要求，则标注为：

5−6−6 GB/T 10089—1988

对蜗杆传动，应标注出相应的精度等级和侧隙种类代号。如传动的三个公差组的精度同为 5 级，侧隙种类为 f，则标注为：

传动 5 f GB/T 10089—1988

若上例中侧隙为非标准值，如 $j_{tmin}=0.03$mm，$j_{tmax}=$

0.06mm，则标注为：

$$\text{传动}\quad 5\quad \begin{pmatrix}0.03\\0.06\end{pmatrix}t\quad \text{GB/T 10089—1988}$$

若为法向侧隙时，则标注为：

$$\text{传动}\quad 5\quad \begin{pmatrix}0.03\\0.06\end{pmatrix}\quad \text{GB/T 10089—1988}$$

B.4.5　齿坯要求

齿坯的加工质量直接影响轮齿制造精度和测量结果的准确性。因此，必须对齿坯检验提出具体要求：

1）蜗杆、蜗轮在加工、检验、安装时的径向、轴向基准面应尽可能一致，并须在图样上标注。

2）蜗杆、蜗轮的齿坯检验项目及公差见表 B-34 和表 B-35，对于其他非基准面的结构要素的尺寸、形状和位置公差及表面粗糙度可自行规定。

表 B-34　蜗杆、蜗轮齿坯尺寸和形状公差

（GB/T 10089—1988）

精度等级		3	4	5	6
孔	尺寸公差	IT4		IT5	IT6
	形状公差	IT3		IT4	IT5
轴	尺寸公差	IT4		IT5	
	形状公差	IT3		IT4	
齿顶圆直径公差		IT7			IT8

（续）

精度等级		7	8	9	10
孔	尺寸公差	IT7		IT8	
	形状公差	IT6		IT7	
轴	尺寸公差	IT6		IT7	
	形状公差	IT5		IT6	
齿顶圆直径公差		IT8		IT9	

注：1. 当三个公差组的精度等级不同时，按最高精度等级确定公差。

2. 当齿顶圆不作测量齿厚基准时，尺寸公差按 IT11 确定，但不得大于 0.1mm。

表 B-35　蜗杆、蜗轮齿坯基准面径向和轴向圆跳动公差（GB/T 10089—1988）

（单位：μm）

基准面直径 d /mm	精度等级			
	3 ~ 4	5 ~ 6	7 ~ 8	9 ~ 10
≤31.5	2.8	4	7	10
>31.5 ~ 63	4	6	10	16
>63 ~ 125	5.5	8.5	14	22
>125 ~ 400	7	11	18	28
>400 ~ 800	9	14	22	36
>800 ~ 1600	12	20	32	50

（续）

基准面直径 d /mm	精度等级			
	3 ~ 4	5 ~ 6	7 ~ 8	9 ~ 10
>1600 ~ 2500	18	28	45	71
>2500 ~ 4000	25	40	63	100

注：1. 当三个公差组的精度等级不同时，按最高精度等级确定公差。

2. 当以齿顶圆作为测量基准时，齿顶圆即属齿坯基准面。

图书在版编目（CIP）数据

金属切削速查速算手册/陈宏钧主编. —5 版. —北京：
机械工业出版社，2016. 5
ISBN 978-7-111-53067-1

Ⅰ. ①金…　Ⅱ. ①陈…　Ⅲ. ①金属切削－技术手册
Ⅳ. ①TG5－62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 037671 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：孔　劲　责任编辑：孔　劲　章承林
版式设计：霍永明　责任校对：刘怡丹
封面设计：张　静　责任印制：李　洋
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2016 年 5 月第 5 版第 1 次印刷
101mm × 140mm · 19. 4375 印张 · 2 插页 · 807 千字
0 001—2500 册
标准书号：ISBN 978-7-111-53067-1
定价：59.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
服务咨询热线：010－88361066
读者购书热线：010－68326294
　　　　　　　010－88379203
封面无防伪标均为盗版

网络服务
机 工 官 网：www. cmpbook. com
机 工 官 博：weibo. com/cmp1952
金 书 网：www. golden－book. com
教育服务网：www. cmpedu. com

★ 本书以速查速算为宗旨，以少而精为原则，自 1999 年第 1 版出版，已再版 4 次。

★ 介绍常用技术资料、产品几何技术规范、常用零件画法、常用材料及应用、常用切削工具和磨具。

★ 包括车工、铣工、磨工、镗工、刨工和插工、螺纹加工、齿轮加工、钳工等加工技术。

金属切削速查速算手册第 5 版

五金速查手册第 4 版

常用材料速查速算手册第 4 版

塑料制品速查手册第 2 版

机械工人切削技术手册第 3 版


机械工业出版社微信公众号


机械工业出版社科普平台
科技有的聊


机械工业出版社制造业资讯
制造业那些事儿

HANDBOOK

上架指导 工业技术 / 机械工程 / 机械加工

ISBN 978-7-111-53067-1
策划编辑◎孔劲 / 封面设计◎张静

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-53067-1


定价：59.00元